

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

LUCIANA DA ROSA ESPÍNDOLA

HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM MADEIRA
CONFORME OS PRINCÍPIOS DE COORDENAÇÃO MODULAR E
CONECTIVIDADE

FLORIANÓPOLIS

2010

Arquiteta e Urbanista LUCIANA DA ROSA ESPÍNDOLA

HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM MADEIRA
CONFORME OS PRINCÍPIOS DE COORDENAÇÃO MODULAR E
CONECTIVIDADE

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Poliana Dias de Moraes

FLORIANÓPOLIS

2010

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

E77h Espíndola, Luciana da Rosa
 Habitação de Interesse Social em madeira conforme
 os princípios de coordenação modular e conectividade
 [dissertação] / Luciana da Rosa Espíndola ; orientadora,
 Poliana Dias de Moraes. - Florianópolis, SC : 2010.
 172 p.: il., tabs., plantas

 Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina. Centro Tecnológico. Programa de Pós-graduação
em Engenharia Civil.

 Inclui referências

 1. Engenharia civil. 2. Sistema plataforma em madeira.
3. Coordenação modular. 3. Conectividade. 4. Habitação de
interesse social. 5. Painéis de parede. I. Moraes, Poliana
Dias de. II. Universidade Federal de Santa Catarina.
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

LUCIANA DA ROSA ESPÍNDOLA

HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM MADEIRA
CONFORME OS PRINCÍPIOS DE COORDENAÇÃO MODULAR E
CONECTIVIDADE

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 12 de março de 2010.

Prof^ª. Janaíde Cavalcante Rocha
Coordenadora do PPGEC / UFSC

BANCA EXAMINADORA:

Prof^ª. Dr^ª. Poliana Dias de Moraes
Orientadora – ECV / UFSC

Prof^ª. Dr^ª. Akemi Ino
Avaliadora Externa – EESC / USP São Carlos

Prof^ª. Dr^ª. Ângela do Valle
Avaliadora Interna – ECV / UFSC

Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs
Avaliador Interno – ECV / UFSC

*Aos meus pais Talmir e Jussara,
às minhas irmãs Beatriz e Gabriela
e ao meu cunhado Rogério
pelo amor e pela paciência.*

AGRADECIMENTOS

À minha família, por todos se esforçarem para continuarem próximos uns dos outros, mesmo estando em lugares distantes.

À Prof^{ra}. Poliana Dias de Moraes, por ser uma excelente orientadora, estando disponível em todo momento, demonstrando seu conhecimento com paciência, carinho e amizade.

Aos Professores Carlos Alberto Szücs, Ângela do Valle e Poliana Dias de Moraes por ensinarem de uma forma cativante e por agirem em grupo, contagiando no assunto madeira.

Ao Prof. Humberto Ramos, pela excelente coordenação da pesquisa da rede Habitare, pela confiança demonstrada e pelas oportunidades concedidas para acrescentar meu conhecimento.

Ao Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira – GIEM, pelo ambiente de trabalho agradável e pelo entusiasmo em pesquisar e trocar experiências.

Às amigas Rute e Cleila, por estarem ao meu lado em todos os momentos e, principalmente, por me escutarem mesmo sem me entenderem.

Aos amigos Manuel, Rodrigo, Élbio, Anna, Luciane, Rute, Carolina, Cleila e professores do GIEM pela amizade, pela ajuda dada e pelos momentos divertidos entre trabalhos, stand, apresentações, *banners*, viagens, uniformes e relatórios.

Ao Prof. Pekka Heikkinen e ao Departamento de Arquitetura da Universidade de Helsinque, na Finlândia, pelo excelente curso instruído, incentivando o aprendizado através da prática de construções em madeira.

À secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, em especial à Mari, pela prontidão e pelo auxílio.

À Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo financiamento deste trabalho.

RESUMO

O Brasil, atualmente, apresenta uma crescente área de florestas plantadas, que pode ser aplicada de forma positiva para a construção de habitações e suprir a necessidade do déficit habitacional do país. No entanto, este grande potencial contrasta com a baixa participação das edificações em madeira no mercado da construção civil. Grande parte da indústria da construção civil em madeira adota técnicas inadequadas à realidade brasileira, fazendo com que a população associe estas construções com baixa qualidade e com construções provisórias. O Sistema Plataforma em madeira, que é amplamente aplicado nos países da América do Norte e da Europa, pode ser adaptado adequadamente às condicionantes brasileiras, com o intuito de agregar as boas técnicas do sistema e promover o desenvolvimento tecnológico da construção civil em madeira no país, por aplicar conceitos de coordenação modular, de padronização e de conectividade dos componentes. No entanto, os componentes do Sistema Plataforma não atendem à coordenação modular decimétrica e isso limita a aplicação adequada destes componentes em sistemas construtivos abertos assim coordenados. Conforme este panorama, o objetivo principal desse trabalho é adequar os componentes do Sistema Plataforma em madeira à coordenação modular decimétrica para propor uma Habitação de Interesse Social (HIS) que atenda os conceitos de conectividade entre componentes de sistemas abertos. A proposta é elaborada para uma família de 4 pessoas com renda familiar máxima de 3 salários mínimos. Foram consideradas as seguintes condicionantes de projeto: coordenação modular, desempenho estrutural do Sistema Plataforma, madeira oriunda de floresta plantada, requisitos de durabilidade, iluminação e ventilação naturais e conforto ergonômico. A partir dessas premissas de projeto, foram propostos painéis verticais coordenados, com três modelos básicos: painel-fechado, painel-porta e painel-janela. O trabalho resulta em uma HIS projetada com esses painéis verticais, demonstrando as possibilidades de flexibilidade espacial e de permuta de materiais de construção como uma proposta positiva para estimular a industrialização e modernização do setor de construção de edificações em madeira.

Palavras-chave: Sistema Plataforma em madeira, coordenação modular, conectividade, Habitação de Interesse Social, painéis de parede.

ABSTRACT

Nowadays, Brazil currently has a growing area of planted forests, which can be applied positively to the construction of housing and to provide what is needed on the housing deficit. However, this great potential contrasts with the low participation of wooden constructions in the building industry. Much of the wood construction industry applies inadequate techniques to the Brazilian reality, persuading people to associate it with poor quality buildings and temporary constructions. The platform system, which is widely applied in North America and Europe, can be appropriately adapted to Brazilian circumstances, in order to make use of the system's good techniques and to promote technological development in Brazilians' timber construction, by applying concepts of modular coordination, standardization and connectivity between building components. However, the components of the platform system usually use imperial units for modular coordination and do not use the metric scale, and this may limit the proper execution of these components in open buildings adopting the 10 cm module. Under these circumstances, the main purpose of this work is to adapt the platform system's components to modular coordination adopting the 10 cm module in a way to design a low-cost house which encloses the connectivity conception in open buildings. The design is suggested for a 4 people family earning up to 3 minimum wages. Other constraints were considered to develop the design, as: principles of modular coordination, structural performance of the Platform System, using wood from planted forests, durability requirements, natural lighting and ventilation and ergonomic comfort. Based on these constraints, coordinated wall panels were designed with three basic models: simple panel, door panel and window panel. This dissertation results in a low cost house designed with these wall panels, demonstrating the possibilities and the advantages of the open buildings' flexible design. These advantages may be adopted to increase industrialization and modernization in Brazilians' wood buildings.

Key words: Platform System, Wood Light Frame, Modular Coordination, Connectivity, Low Cost House and Wall Panel.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	OBJETIVOS.....	5
1.1.1.	Objetivo geral.....	5
1.1.2.	Objetivos específicos.....	6
1.2.	ESTRUTURA DO TRABALHO	6
2.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
2.1.	COORDENAÇÃO MODULAR	9
2.1.1.	Módulo.....	9
2.1.2.	Evolução do módulo na construção civil.....	13
2.1.3.	Princípios da coordenação modular.....	17
2.2.	SISTEMA CONSTRUTIVO	22
2.2.1.	Sistema fechado.....	24
2.2.2.	Sistema aberto.....	25
2.3.	CONECTIVIDADE E COMPATIBILIDADE NOS SISTEMAS ABERTOS.....	26
2.4.	INDUSTRIALIZAÇÃO DAS HABITAÇÕES EM MADEIRA.....	33
2.4.1.	Sistema plataforma em madeira.....	39
2.5.	DISPOSITIVOS DE LIGAÇÃO DO SISTEMA PLATAFORMA	44
2.5.1.	Pregos.....	44
2.5.2.	Parafusos	45
2.5.3.	Chapas metálicas planas.....	47
2.5.4.	Conectores especiais.....	48
3.	CONDICIONANTES DE PROJETO PARA A CONCEPÇÃO DA HIS.....	53
3.1.	POPULAÇÃO ALVO.....	53
3.2.	COORDENAÇÃO MODULAR	53
3.3.	MADEIRA DE FLORESTA PLANTADA.....	54
3.4.	DURABILIDADE.....	54
3.5.	DESEMPENHO ESTRUTURAL DO SISTEMA PLATAFORMA	56
3.6.	CONFORTO ERGONÔMICO.....	58
3.7.	ILUMINAÇÃO E VENTILAÇÃO NATURAL.....	61
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
4.1.	PROPOSTA DE PAINÉIS VERTICAIS COORDENADOS.....	63
4.1.1.	Painel-fechado.....	68
4.1.2.	Painel-porta	69
4.1.3.	Painel-janela	71
4.2.	PROPOSTA DA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL	73
4.2.1.	Composição espacial arquitetônica.....	74
4.2.2.	Estudos da flexibilidade da composição espacial da his proposta	77
4.2.3.	Detalhamento dos subsistemas da habitação	80
4.2.4.	Detalhamento das conexões dos principais componentes.....	107
4.3.	ESTIMATIVA DE CUSTOS DE MATERIAL DA HIS	117
5.	CONCLUSÕES	125
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	129
7.	APÊNDICES.....	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Síntese da evolução do conceito do módulo (PELEGRINI, 2005).....	10
Figura 2: Tipos de modularidade encontrados na indústria	11
Figura 3: Proporção e simetria das colunas gregas (VIÑOLA, 1948 <i>apud</i> BALDAUF, 2004).....	14
Figura 4: Sistema de Referência Modular	20
Figura 5: Aplicação do Sistema de Referência Modular (BNH, IDEG, 1976).	21
Figura 6: Diferença entre medida modular e medida de projeto.....	30
Figura 7: Casa modular na etapa de fabricação (PATH, 1998).	34
Figura 8: Casa modular na etapa de montagem (a) e finalizada (b) (PATH, 1998)..	35
Figura 9: Etapa de fabricação dos painéis (CMHI, 2007).....	35
Figura 10: Montagem da casa composta por painéis abertos.....	36
Figura 11: Exemplo de painel fechado com instalações hidráulicas (BENSONWOOD, 2006).	36
Figura 12: Etapa de execução da casa por kits (<i>stick-built home</i>)	37
Figura 13: Detalhes das tábuas aparelhadas pelo sistema macho-fêmea e encaixadas em montantes maciços (adaptado de HUMAITÁ, 2008)	38
Figura 14: Enxaimel com peças longas (a); Enxaimel com peças longas nas extremidades e restante em peças curtas (b); e Enxaimel com peças curtas (c) (BENOÎT, PARADIS, 2007).	40
Figura 15: Sistema estrutural do <i>Balloon-frame</i> (KUCKER, 2002).	40
Figura 16: Subsistemas do Sistema Plataforma em madeira	42
Figura 17: Pregos mais utilizados em estruturas leves em madeira.....	45
Figura 18: Tipos de parafuso auto-atarraxante	46
Figura 19: Tipos de parafuso comum	46
Figura 20: Tipos especiais de chumbadores	47
Figura 21: Tipos de chapas metálicas planas.....	47
Figura 22: Aplicação de chapas pregadas entre barras superiores e entre barras superiores e montante de canto (adaptado de WAGNER, 2005).....	48
Figura 23: Tipos de suportes metálicos para ligação entre vigas de madeira (adaptado de STRONGTIE, 2008).	49
Figura 24: Passos da instalação do suporte metálico (adaptado de STRONGTIE, 2008).	49
Figura 25: Tipos de chapas de ancoragem (adaptado de LEWIS e VOGT, 2000) ...	50
Figura 26: Exemplos de aplicação das fitas metálicas.....	50
Figura 27: Tipos especiais de amarração para furacões e abalos sísmicos	51
Figura 28: Exemplos de aplicação de cantoneiras simples em peças do sistema leve em madeira (adaptado de STRONGTIE, 2008).	51
Figura 29: Exemplos de aplicação de cantoneiras reforçadas.....	52

Figura 30: Exemplos de cantoneiras para alinhamento de peças	52
Figura 31: Dimensões estruturais do corpo humano (PANERO, ZELNIK, 2002) ..	59
Figura 32: Dimensões funcionais do corpo humano (PANERO, ZELNIK, 2002) ..	59
Figura 33: Painéis propostos para os vãos modulares de 60 cm × 280 cm	64
Figura 34: Painéis propostos para os vãos modulares de 120 cm × 280 cm	65
Figura 35: Painéis propostos para os vãos modulares de 240 cm × 280 cm	65
Figura 36: Detalhe da junta total de 3 mm entre painéis.....	67
Figura 37: Tipos de painéis básicos e seus componentes.....	67
Figura 38: Composição dos painéis fechados com dimensões em cm	68
Figura 39: Composição do painel-porta padrão com dimensões em cm	70
Figura 40: Composição do painel duplo fechado e porta com dimensões em cm....	71
Figura 41: Composição do painel-janela padrão e do painel duplo fechado e janela	73
Figura 42: HIS proposta com 46,50 m ² sobre quadricula modular 2M.....	74
Figura 43: Distribuição dos painéis na composição espacial da HIS	75
Figura 44: Dimensões entre mobiliários e demarcação do fluxo e da circulação.....	76
Figura 45: Relocação dos painéis para ampliar dimensões das circulações	77
Figura 46: Alteração da distribuição dos ambientes	78
Figura 47: Evolução da HIS com a adição de um quarto	78
Figura 48: Alteração dos painéis por outro material de construção modular	79
Figura 49: Perspectiva da HIS proposta.....	80
Figura 50: Subsistema fundação da HIS	81
Figura 51: Disposição dos blocos de concreto de 19 cm × 19 cm × 39 cm.....	82
Figura 52: Passos da execução da fundação	83
Figura 53: Detalhe da fundação	84
Figura 54: Posicionamento dos pilares	85
Figura 55: Detalhe das aberturas de ventilação.....	86
Figura 56: Componentes do piso	87
Figura 57: Isolamento das peças da soleira conta umidade.....	88
Figura 58: Fixação das vigas duplas de seção “I” para vigas de suporte	88
Figura 59: Detalhe da composição das vigas do piso.....	89
Figura 60: Visualização em planta da soleira e das 06 vigas duplas de suporte.....	90
Figura 61: Visualização em planta das vigas da plataforma de piso	90
Figura 62: Detalhes da chapa de fechamento lateral e dos elementos enrijecedores entre vigas do piso	92
Figura 63: Distribuição das chapas OSB no piso da HIS.....	93
Figura 64: Distribuição dos painéis verticais na composição espacial da HIS.....	94
Figura 65: Perspectivas da ossatura e das vedações interna e externa das paredes ..	95
Figura 66: Painéis montados em fábrica e unidos no canteiro	95

Figura 67: Encontro perpendicular entre três painéis de parede	96
Figura 68: Encontro perpendicular entre dois painéis de parede	96
Figura 69: União de canto dos painéis verticais externos.....	97
Figura 70: União de canto dos painéis verticais externos.....	97
Figura 71: Elementos que compõem as paredes externas.....	98
Figura 72: Detalhe dos elementos da parede externa.....	99
Figura 73: Composição da cobertura da HIS.....	99
Figura 74: Treliças pré-fabricadas em madeira	100
Figura 75: Distribuição e posicionamento das chapas OSB da cobertura.....	100
Figura 76: Detalhe da aplicação do material isolante na cobertura	101
Figura 77: Detalhe do beiral da cobertura	101
Figura 78: Detalhe da vedação e do revestimento dos oitões	102
Figura 79: Posicionamento da caixa d'água em torre externa à cobertura.....	103
Figura 80: Composição do painel hidráulico.....	103
Figura 81: Perspectiva do banheiro	104
Figura 82: Detalhe do reforço na estrutura para fixação das louças	104
Figura 83: Detalhe da diferença de altura das vigas para o rebaixo na área do box.....	105
Figura 84: Fixação das caixas de interruptores e tomadas nas laterais dos montantes	106
Figura 85: Detalhe da passagem dos eletrodutos na parede da HIS	106
Figura 86: Dimensão dos furos para passagem dos eletrodutos	107
Figura 87: Fixação da soleira na fundação	108
Figura 88: Demarcação do posicionamento dos parafusos na soleira.....	108
Figura 89: Espaçamento entre parafusos de ancoragem na soleira.....	109
Figura 90: Fixação das vigas de suporte na fundação.....	110
Figura 91: Exemplos de suportes metálicos para fixação das vigas	111
Figura 92: Fixação da chapa de fechamento lateral nas vigas e na soleira	111
Figura 93: Fixação das vigas da plataforma do piso na soleira	112
Figura 94: Chapas OSB pregadas sobre vigas do piso e elementos enrijecedores..	112
Figura 95: Fixação dos montantes nas travessas inferior e superior.....	113
Figura 96: Reforço da ligação entre montante e travessa com cantoneiras metálicas	113
Figura 97: Fixação das chapas OSB e de gesso acartonado na ossatura da parede.....	114
Figura 98: União dos painéis de parede e fixação destes na plataforma de piso.....	115
Figura 99: Fitas de ancoragem reforçando ligação dos painéis de parede à fundação	115
Figura 100: Detalhe do espaçamento entre pregos na fixação da travessa superior dupla.....	116
Figura 101: Fixação reforçada da treliça sobre as travessas duplas.....	117

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Vida Útil de Projeto (VUP) mínima segundo NBR 15575-1 (2008)	55
Tabela 2: Espaçamentos e dimensões dos montantes das paredes externas conforme o IRC (2009).....	57
Tabela 3: Espessuras mínimas das chapas OSB para plataforma de piso (SBA, 2004)	57
Tabela 4: Espessuras mínimas das chapas OSB para painéis de parede (SBA, 2004)	57
Tabela 5: Espessuras mínimas das chapas OSB para cobertura (SBA, 2004)	58
Tabela 6: Dimensões mínimas de mobiliário e circulação (NBR 15575-1, 2008)....	60
Tabela 7: Áreas mínimas de iluminação e ventilação natural conforme o IRC (2009)	61
Tabela 8: Áreas mínimas de iluminação e ventilação natural conforme o Código de Obras de Florianópolis (PMF, 2000)	61
Tabela 9: Estimativas dos custos dos materiais da fundação da HIS.....	118
Tabela 10: Estimativas dos custos dos materiais do piso da HIS	118
Tabela 11: Estimativas dos custos dos materiais das paredes da HIS.....	118
Tabela 12: Estimativas dos custos dos materiais da cobertura da HIS	120
Tabela 13: Preço total estimado para a HIS.....	120
Tabela 14: Resultado da simulação obtida pelo programa “Simulador Habitação” da CEF (2010) em associação com o programa habitacional Minha Casa Minha Vida.....	122

APÊNDICES

Apêndice 1: Planta da HIS cotada	139
Apêndice 2: Fachada e corte 01.....	140
Apêndice 3: Fachada e corte 02.....	141
Apêndice 4: Fachada e corte 03.....	142
Apêndice 5: Fachada e corte 04.....	143
Apêndice 6: Planta da fundação detalhada	144
Apêndice 7: Planta com soleiras e vigas de suporte detalhadas.....	145
Apêndice 8: Planta com detalhamento das vigas do piso e fechamento lateral	146
Apêndice 9: Posicionamento e detalhamento das treliças da cobertura.....	147

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAF: Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas
CCA: Arseniato de Cobre Cromatado
CEF: Caixa Econômica Federal
CUB: Custo Unitário Básico
EFL: Educational Facilities Laboratories
FJP: Fundação João Pinheiro
GIEM: Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira
HIS: Habitação de Interesse Social
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IRC: International Residential Code
ISO: International Standard Organization
IPEA: Instituto de Pesquisa Econômica Avançada
LVL: Laminated Veneer Lumber
LP: Louisiana Pacific
OSB: Oriented Strand Board
SBA: Structural Board Association
UFSC: Universidade Federal de Santa Catarina
VBPF: Valor Bruto da Produção Florestal

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a distribuição não uniforme de renda é marcante, e a situação da desigualdade sócio-econômica influi diretamente nas condições habitacionais da população. Percebe-se que a expectativa da população de concentrar-se nos pólos urbanos em busca de melhores condições sociais com um trabalho remunerado e compatível a uma boa qualidade de vida não foi realmente correspondida. Os fluxos migratórios campo-cidade na busca pelo emprego urbano depararam-se com a incapacidade das cidades de gerarem empregos suficientes e absorverem a mão-de-obra excedente. O crescimento dos centros urbanos, com uma grande parcela da população desempregada ou sem emprego formal, vem acompanhado de muitos problemas sociais, com destaque ao crescimento da economia informal, à carência de infraestrutura urbana, à falta de moradias, à favelização e à periferação da população.

O aumento do déficit habitacional e as condições precárias de habitação são efeitos da desigualdade sócio-econômica. Apesar da tentativa de diversas políticas governamentais na busca de soluções para Habitações de Interesse Social (HIS), os resultados não se revelam muito positivos. Não raro as habitações produzidas por essas políticas geravam projetos associados à falta de padrões qualitativos e às estimativas irreais de custo, e, conseqüentemente, eram construídos abrigos cada vez menores e menos dotados dos requisitos mínimos de conforto e desempenho (METELLO, CALIL JÚNIOR, 1995).

O Instituto de Pesquisa Econômica Avançada (IPEA) realiza periodicamente um levantamento sobre as condições de vida dos brasileiros, monitorando e avaliando as políticas públicas vigentes sobre as questões sociais. Com respeito às condições de moradia, o IPEA (2006) publicou a pesquisa "Radar Social - Condições de Vida no Brasil" que apresenta entre diversos dados, o grau de adensamento domiciliar e a proporção de irregularidade fundiária referentes ao ano de 2004. Neste período, o grau de adensamento domiciliar, referente a uma densidade superior a 3 moradores por dormitório, totalizava 9,8% da população brasileira, cerca de 14,8 milhões de pessoas. Tal taxa de domicílios superlotados reflete a escassez da oferta de moradias adequadas com um descompasso entre o tamanho das famílias e o tamanho da residência. E, neste mesmo ano, 7,2 milhões de pessoas moravam em domicílios com irregularidade fundiária, ou seja, sem um documento legal da posse da habitação e da terra.

Segundo as estimativas da Fundação João Pinheiro (2009), em 2007, o déficit habitacional brasileiro estimado foi de 6.273 milhões de moradias, sendo que 89,4% desse valor é composto por pessoas com renda familiar de até 3 salários mínimos e 6,5% é composto por pessoas com renda familiar na faixa entre 3 e 5 salários mínimos. Em Santa Catarina, estimou-se a carência de 145.363 moradias, a qual é composta por 77,1% com pessoas com renda familiar de até 3 salários mínimos e 13,9% com pessoas que ganham entre 3 e 5 salários mínimos.

Nos resultados do levantamento da Fundação João Pinheiro, divulgados em 2009, o déficit habitacional é contabilizado sem incluir os valores da inadequação de moradias, diferentemente das estimativas realizadas nos anos anteriores, nas quais os valores dos dois segmentos eram trabalhados juntos. Na estimativa divulgada em 2009, o conceito de déficit habitacional está relacionado diretamente às deficiências de estoque de moradia e à necessidade de construção de novas moradias para a solução de problemas sociais e específicos de habitação. Dessa forma, o déficit habitacional compreende as residências que não apresentam condições de serem habitadas e precisam ser repostas devido à precariedade das construções ou em virtude de desgaste da estrutura física. Nele também está incluída a necessidade de incremento do estoque de habitações devido à coabitação familiar que se reflete em residências com grau elevado de adensamento domiciliar. Entretanto, a inadequação de moradias, que não está mais incluída nos valores do déficit habitacional, refere-se às especificidades internas da habitação, refletindo problemas na qualidade de vida dos moradores relacionados às especificidades internas da habitação, mas nestes casos, a reposição por uma nova habitação não é necessária (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2009).

Considerando este panorama, as necessidades de carência habitacional concentram-se principalmente nas famílias com até 3 salários mínimos de renda. Segundo cálculo elaborado com base nos dados do IBGE (2006), estas famílias são compostas em média por 3,36 pessoas. Assim, devem ser promovidas políticas de inclusão social para estas famílias, proporcionando condições de acesso à moradia digna. A habitação deve prever cômodos suficientes e adequados para o conforto antropodinâmico dos moradores, evitando também o adensamento domiciliar inadequado.

Atualmente, os estudos e as propostas de Habitações de Interesse Social (HIS) procuram concentrar-se na aplicação de soluções racionalizadas, incorporando, na produção da habitação, os conceitos de

sustentabilidade, desempenho, produtividade e flexibilidade, para resultar em um produto eficiente, com qualidade e de baixo custo. Para conseguir obter sucesso na aplicação desses conceitos, o setor da construção civil procura aprimorar os sistemas e processos construtivos, por adequar e otimizar as condições de produção dos sistemas já consolidados no país, e, também, por adotar técnicas inovadoras com componentes pré-fabricados, padronizados, de fácil execução e manutenção que sejam adequados às condicionantes brasileiras.

Entre os sistemas construtivos inovadores, os sistemas abertos em madeira oriunda de florestas plantadas constituem uma opção viável para a prática construtiva habitacional, haja vista o grande potencial madeireiro nacional. As florestas plantadas têm sido utilizadas como uma alternativa pelo setor madeireiro tendo em vista o crescimento acelerado das espécies, e para diminuir pressões ambientalistas, pois, o manejo das florestas permite a perpetuação da produção de madeira, sem a necessária degradação do equilíbrio ambiental.

No Brasil, nos últimos cinco anos, a área de floresta plantada apresentou um crescimento anual médio de 4,4%. Em 2008, as áreas de florestas plantadas de eucalipto e pinus totalizaram 6.126.384 ha. O estado de Santa Catarina destaca-se como o 2º maior produtor nacional de pinus de floresta plantada, com uma área de 551.219 ha que equivale a 30% do total brasileiro. O estado também apresenta uma área de 77.436 ha de florestas de eucalipto (ABRAF, 2009).

Além da contribuição para a sustentabilidade ambiental, as florestas plantadas geram recursos financeiros e empregos. Segundo o levantamento elaborado pela Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2009), em 2008, este setor gerou 4,7 milhões de empregos. Neste mesmo ano, as empresas associadas à ABRAF investiram R\$ 4,25 bilhões no setor florestal, e estima-se que nos próximos cinco anos este investimento totalize R\$ 16,1 bilhões. O valor Bruto da Produção Florestal (VBPF) referente à cadeia produtiva de indústrias madeireiras foi de R\$ 11.865 milhões e de painéis reconstituídos foi de R\$ 4.688 milhões. Estes valores não apresentaram um crescimento tão expressivo quanto os anos anteriores, pois o setor foi afetado pela crise mundial. Por exemplo, no último semestre de 2008, quando ocorreu a crise mundial, o nível de investimento do setor das indústrias de construção civil residencial decaiu 6%, passando de R\$ 570,4 bilhões para R\$ 535,7 bilhões. No entanto, em 2009, o anúncio dado pelo governo brasileiro sobre um intenso programa de construção

de casas populares para os próximos anos surgiu como um alento para a indústria da construção civil (ABRAF, 2008).

Apesar do quadro positivo do setor florestal, o grande potencial madeireiro do Brasil contrasta com a baixa participação das edificações em madeira no mercado da construção civil. Atualmente, grande parte da indústria da construção civil em madeira adota técnicas inadequadas à realidade brasileira, fazendo com que a população associe as construções em madeira com baixa qualidade e com construções provisórias. Segundo Bittencourt (1995), o preconceito brasileiro sobre a utilização da madeira está associado ao uso inadequado do material e ao baixo desenvolvimento tecnológico dos produtos ofertados.

Em contraste, na América do Norte e na Europa, as indústrias adotam, principalmente, os sistemas construtivos leves em madeira, nos quais são utilizadas soluções construtivas racionalizadas. Entre estes, o Sistema Plataforma em madeira é um dos sistemas mais empregados, pois se destaca por ser um sistema coordenado, constituído por peças de madeira de pequenas dimensões, unidas por métodos simples, de rápida execução, atendendo às especificações técnicas de qualidade.

O Sistema Plataforma em madeira pode ser adaptado adequadamente às condicionantes brasileiras, com o intuito de agregar as boas técnicas do sistema e promover o desenvolvimento tecnológico da construção civil em madeira no país. Os elementos constituintes deste sistema podem ser construídos com madeiras e derivados oriundos de florestas plantadas e os dispositivos de ligação podem ser facilmente fabricados e comercializados por indústrias nacionais. Dessa forma, o Sistema Plataforma pode contribuir para a implementação de novos processos construtivos em madeira no Brasil, por aplicar conceitos de coordenação dimensional, de padronização e conectividade de componentes da construção.

No entanto, o Sistema Plataforma é pouco difundido no Brasil, o que dificulta seu emprego e disseminação. Dias (2005) aponta como uma das causas possíveis, a não existência de critérios normativos pela NBR 7190 (1997) referentes ao sistema, assim como a escassez de referências nacionais sobre o assunto. Há necessidade de ampliar os estudos e pesquisas referentes ao funcionamento global do sistema a fim de fornecer subsídios para a concepção de projetos coerentes às condicionantes brasileiras.

O Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira (GIEM) da Universidade de Federal Santa Catarina contribui com pesquisas para a disseminação de temas associados às propriedades físico-mecânicas da

madeira, bem como temas sobre estruturas leves em madeira, como o Sistema Plataforma (DIAS, 2005; SANTOS, 2005; LIMA, 2003). Em parceria com a empresa Battistella, construiu-se um protótipo de HIS aplicando as técnicas do Sistema Plataforma em madeira (SZÜCS et al, 2007). A partir desse protótipo, Krambeck (2006) realizou uma análise sobre o cumprimento da coordenação dimensional no projeto e na execução da HIS, e diagnosticou que nos casos onde a coordenação dos componentes da habitação foi desconsiderada, foi necessário re-trabalho, desperdiçando material, mão-de-obra e tempo durante a montagem.

A coordenação dimensional pode ser mais eficiente quando estabelece um módulo como dimensão básica de referência. A aplicação dos princípios da coordenação em módulos proporciona simplificação, organização, rapidez de produção, redução de mão-de-obra, de desperdícios de materiais e de custos na construção, principalmente por estar associada a métodos construtivos de fáceis montagem e conexão. O Sistema Plataforma em madeira foi desenvolvido como um sistema de construção coordenada que consiste em componentes padronizados pré-fabricados e montados facilmente. No entanto, os componentes deste sistema não atendem à coordenação modular decimétrica, conforme a ISO 1006 (1983) e a NBR 5731 (1982), adotada no Brasil.

Portanto, é necessário adequar os componentes do Sistema Plataforma em madeira às normas de coordenação modular decimétrica vigentes no país, para que estes possam ser compatíveis com outros componentes coordenados, e então, serem utilizados em sistemas construtivos abertos com a conectividade adequada entre componentes. A flexibilidade e a permuta dos componentes coordenados no mesmo sistema construtivo e entre sistemas diferentes é importante para possibilitar a aplicação de materiais disponíveis regionalmente.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Adequar os componentes do Sistema Plataforma em madeira às especificações da coordenação modular decimétrica para propor uma HIS que atenda os conceitos de conectividade entre componentes de sistemas abertos.

1.1.2. Objetivos específicos

Como objetivos específicos deste trabalho têm-se:

- propor painéis verticais do Sistema Plataforma em madeira adequados às normas de coordenação modular conforme a ISO 1006 (1983) e a NBR 5731 (1982);
- detalhar os subsistemas piso, parede e cobertura da HIS proposta, assim como os sistemas elétrico e hidrossanitário;
- descrever os principais dispositivos de ligação de estruturas leves em madeira utilizados na HIS proposta;
- elaborar levantamento preliminar dos custos dos componentes da HIS para verificação da sua viabilidade econômica para famílias com renda de até 3 salários mínimos.

1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO

Após a breve apresentação, no capítulo de introdução, sobre o contexto e a justificativa do tema escolhido e os objetivos adotados, o trabalho estrutura-se em quatro capítulos principais. Estes capítulos se apresentam na seguinte sequência: capítulo 2 - Fundamentação teórica, capítulo 3 - Condicionantes de projeto para a concepção da HIS, capítulo 4 - Resultados e discussões, e capítulo 5 - Conclusões e recomendações.

No capítulo 2, a fundamentação teórica é elaborada sobre os temas: coordenação modular, sistemas construtivos abertos, conectividade e compatibilidade entre componentes da construção aberta, industrialização das habitações em madeira e Sistema Plataforma em madeira e seus dispositivos de ligação.

No capítulo 3, detalham-se as condicionantes de projetos consideradas para o desenvolvimento da proposta da HIS: população alvo, coordenação modular, madeira de floresta plantada, durabilidade, desempenho estrutural do Sistema Plataforma, conforto ergonômico e iluminação e ventilação natural.

No capítulo 4, primeiramente apresenta-se a proposta dos três painéis verticais coordenados: fechado, porta e janela. A partir da solução adotada para estes painéis de parede, elaborou-se uma proposta principal para a HIS, detalhando seus subsistemas fundação, piso, parede, cobertura e sistemas elétrico e hidrossanitário. Os dispositivos de ligação entre os principais componentes da HIS também são descritos

nesse capítulo. E, por fim, apresenta-se um levantamento preliminar dos custos dos materiais da HIS.

Para finalizar, no capítulo 5, são descritas as conclusões obtidas neste trabalho e, também, estudos futuros são sugeridos para aprofundar o tema selecionado.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentados os conceitos básicos sobre coordenação modular, sistema construtivo incluindo os princípios dos sistemas abertos, conectividade e compatibilidade entre componentes da construção, industrialização das habitações em madeira, e Sistema Plataforma em madeira e seus dispositivos de ligação.

2.1. COORDENAÇÃO MODULAR

A coordenação modular, segundo Lucini (2001, p. 23), é uma “técnica que permite definir e relacionar dimensões de materiais e componentes em projeto e obra, através de medidas modulares organizadas por meio de um reticulado espacial de referência”.

Estabelecer um módulo é o princípio fundamental para possibilitar a coordenação dos componentes e elementos de um sistema construtivo. No entanto, o conceito de módulo transformou-se no passar do tempo. E a definição para módulo como uma unidade de medida de referência, como requer o contexto da construção civil, perdeu-se em alguns lugares, como no Brasil.

Os itens a seguir esclarecem as definições usuais para módulo nos contextos da manufatura e da arquitetura, para finalmente explicar os princípios da coordenação modular.

2.1.1. Módulo

O termo módulo é usado de muitas formas dependendo dos diferentes contextos e períodos históricos em que está aplicado. Na Antigüidade, o módulo era uma unidade de medida utilizada como referência para técnicas construtivas. Com o passar dos anos, pela necessidade de produção em massa e em série, o conceito de módulo foi incorporando outros significados principalmente pelas indústrias de manufatura. Atualmente, o conceito mais difundido é do módulo como um componente ou unidade independente que possibilita a padronização e intercambialidade, e assim permite criação de variedades (Figura 1).

No contexto da manufatura, o termo modularidade refere-se ao uso de unidades independentes e intercambiáveis, para criar uma variedade de produtos. Ela está relacionada com a maneira pela qual o produto é fisicamente dividido em componentes. A modularidade é descrita por Rozenfeld et al (2006, p. 259) como “a qualidade ou característica de

um sistema em separar partes independentes ou módulos, que podem ser tratados como unidades lógicas”. Outra definição destacada é a modularidade como atributo de um sistema relacionado à sua estrutura e funcionalidade, que consiste na junção de unidades funcionais distintas – módulos – por meio de interfaces e interações padronizadas. Um módulo quando substituído por outro gera uma nova variação do produto (MILER; ELGARD, 1998 apud PELEGRINI, 2005).



Figura 1: Síntese da evolução do conceito do módulo (PELEGRINI, 2005).

Na manufatura, o produto não é modular em si, mas é classificado de acordo com o grau da modularidade aplicada no seu projeto de desenvolvimento, se ele utiliza mais ou menos modularidade no projeto. Então, quando um produto é chamado modular isso indica que as partes, ou módulos, deste produto podem ser testadas individualmente, e que as interfaces, ou as formas de conexões entre os módulos, devem ser padronizadas e interagirem de forma tal a garantir a realização da função global do produto (ROZENFELD et al, 2006).

A organização do sistema modular, aproveitando a padronização dos componentes para a obtenção da variedade de produtos, pode envolver diferentes tipos de modularidade, mostrados na Figura 2. Os tipos de modularidade mais conhecidos industrialmente são especificados por Ulrish e Tung (1991 *apud* ROZENFELD et al, 2006) como:

- **modularidade em permutar componentes:** é a possibilidade de alternar componentes em uma mesma região de um produto básico, criando diferentes variantes para uma mesma família de produtos. Esta modularidade está associada à criação de variedade de produtos;
- **modularidade em compartilhar componentes:** o mesmo componente básico é utilizado em diferentes famílias de produto. Este tipo de modularidade está frequentemente associado à idéia de componentes padronizados;

- **modularidade em adaptar para a variedade:** um ou mais componentes padronizados conectados com um ou mais componentes adicionais, que podem ter suas dimensões físicas modificadas por um processo de produção simples;
- **modularidade através de barramento ou modularidade por bus:** um componente básico que possui duas ou mais interfaces de união para o acoplamento de componentes adicionais. Este tipo de modularidade é capaz de variar, o tipo, o número e a localização dos componentes.
- **modularidade seccional:** uma coleção de tipos de componentes que podem ser unidos de forma arbitrária às suas interfaces.

Ainda Ulrish e Eppinger (2000 *apud* PEREIRA, 2005) acrescentam mais um tipo de modularidade:

- **modularidade por slot:** as relações entre os componentes e o componente básico são distintas, assim os componentes não podem ser alterados por outros diferentes, ou seja, não há intercambialidade de componentes.

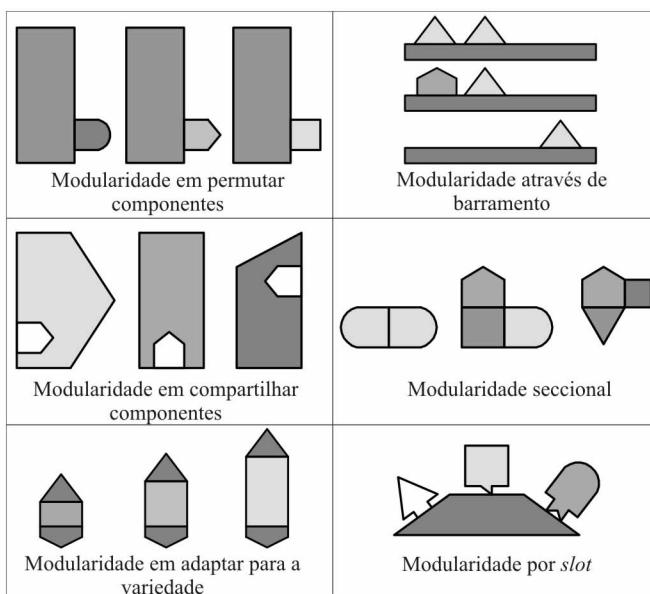


Figura 2: Tipos de modularidade encontrados na indústria (adaptado de ROZENFELD et al, 2006 e PEREIRA, 2005).

Entre as vantagens da aplicação do módulo no desenvolvimento de produtos incluem-se: a possibilidade de variedade de produtos devido às diversas combinações e arranjos dos módulos; aumento da qualidade devido aos testes individuais de desempenho dos módulos; aumento da velocidade do processo de montagem e sua simplificação; introdução de novos materiais e de tecnologias mais avançadas no processo de produção e nos produtos; aumento da velocidade do desenvolvimento de novos produtos com a utilização de módulos anteriormente propostos; prolongamento do ciclo de vida do produto com a reutilização de alguns módulos; e redução de custos (OFFERMAN, 2004; SANCHEZ, 2002).

Atualmente, as definições para módulo na visão da manufatura influenciam as definições de módulo na visão da construção civil, pois logo se associa módulo aos componentes padronizados utilizados na construção. Por isso, o conceito de módulo na arquitetura ainda é ambíguo. Em alguns casos, este se refere à repetição de uma dimensão, em outros, à repetição de componentes e elementos construtivos padronizados. Como citado anteriormente, o módulo significava primariamente uma unidade de medida de referência. Essa medida partia de elementos conhecidos e de fácil acesso, como as próprias medidas humanas de pés, polegadas, palmos e côvados. Com o passar do tempo, estabeleceram-se outras unidades de medidas, como a escala métrica usual. Da mesma forma, indiferente da unidade, o módulo sempre esteve diretamente associado a um dimensionamento de uma medida básica.

Nos períodos pós-guerras, a situação emergente dos países afetados pela guerra trouxe a necessidade de produção em massa de edificações. Logo, o processo de construção artesanal foi substituído pelos adventos da industrialização. A solução para produzir uma habitação com o mínimo de desperdícios e de custos foi vista em um processo de construção industrializado e racionalizado. Para melhor atender esses critérios, a edificação foi separada em componentes e elementos que deveriam ser padronizados e produzidos em série nas fábricas e montados no canteiro, reduzindo também o tempo de construção. Muitas vezes, tais componentes padronizados e repetidos na edificação são chamados de módulo, seguindo os critérios conceituais de módulo na visão da manufatura. Estes são igualmente dependentes dos fatores precisão dimensional e interface para realizar uma montagem bem sucedida e manter a qualidade da edificação. Porém, não necessariamente estes componentes padronizados respeitam o módulo como medida básica estabelecida em um projeto arquitetônico, e, por isso, com o rigor conceitual não poderiam ser chamados módulos.

Outro conceito de módulo no contexto da arquitetura são as chamadas casas modulares. Estas casas são constituídas por volumes individuais totalmente produzidos nas fábricas e transportados ao canteiro, onde são unidos. Neste caso, estes volumes espaciais são os considerados módulos. Ou ainda, há casas inteiramente montadas nas fábricas e depois transportadas ao canteiro já finalizadas. Estas últimas são em si os módulos.

Interessante observar que nestes casos envolvendo a pré-fabricação total ou parcial de componentes construtivos, o que é considerado módulo é a parte física que sai da fábrica. Talvez, isso se deva por esta parte ser o fator que implica repetição e combinação na edificação, determinando os critérios que os outros componentes da edificação devem seguir. Ou talvez, o contexto da construção apropria-se da visão do módulo na manufatura, tendo a casa como produto final composto por partes modulares conectadas entre si.

Então, a fim de evitar os conflitos conceituais no decorrer deste estudo, adotar-se-á a definição original de módulo para o contexto arquitetônico, como uma unidade de medida. Ferreira (1999) afirma que o módulo é a medida reguladora das proporções arquitetônicas ou a quantidade que se toma como unidade de qualquer medida. Rosso (1976) completa dizendo que o módulo é a unidade básica de medida usada para quantificar e medir um espaço. Entretanto, mesmo com esse conceito claro e definido, o trabalho pode mencionar, ocasionalmente, a visão do módulo como componente padronizado na arquitetura, pois esta vem acompanhando a história e a evolução da aplicação do módulo como dimensão na construção.

2.1.2. Evolução do módulo na construção civil

Vitrúvio, no século I a.C., constata a aplicação do módulo nas concepções arquitetônicas da época. No seu Tratado de Arquitetura, ele descreve a aplicação dos módulos para garantir a proporção e a simetria na criação de efeitos plásticos das formas arquitetônicas. Por exemplo, os arquitetos gregos utilizavam uma modulação clássica de caráter quase exclusivamente estético: a “simetria dinâmica” e as “divinas-proporções”, múltiplos de uma medida básica unitária representada pelo diâmetro inferior da coluna. As dimensões da coluna, incluindo fuste, capitel e base, e as dimensões de toda a obra arquitetônica eram estabelecidas com base no diâmetro da parte inferior da coluna, ilustrados na Figura 3 (VITRÚVIO, 2007).

Os romanos utilizavam o “passus romano” no planejamento de cidades e no projeto de edificações e de componentes. Com base nessa medida antropométrica, os romanos padronizaram seus tijolos em dois tipos universais: o “bipetalis” e o “sesquipetalis” (ROSSO, 1976). Além de estabelecerem medidas para componentes construtivos padronizados e modulados, como tubos cerâmicos, telhas, tijolos, colunas e ladrilhos, estabeleciam também para utensílios domésticos, como copos e pratos. Estas medidas de fabricação correspondentes a uma modulação já levavam em conta a espessura das juntas ou a sobreposição das peças (BALDAUF, 2004).

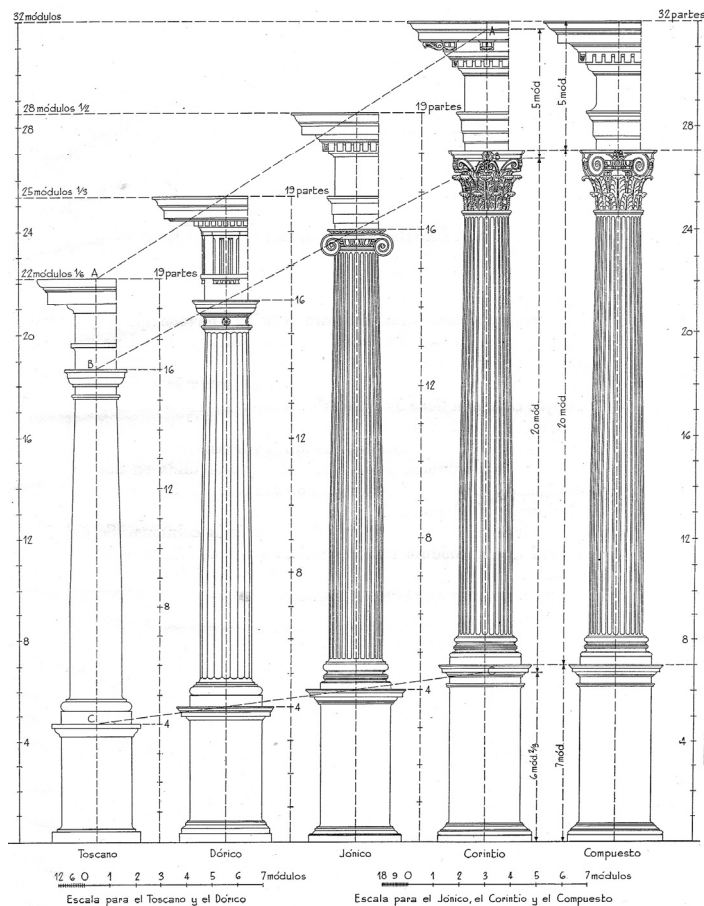


Figura 3: Proporção e simetria das colunas gregas (VIÑOLA, 1948 *apud* BALDAUF, 2004).

No Japão, em 1657, surgiam as primeiras normas destinadas a unificar tipos construtivos e dimensões, referenciando o “tatami”. Este painel tradicional era retangular, com um lado igual a metade do outro lado, e apresentava grande flexibilidade de justaposição. O tatame era aplicado em espaços internos, que então deveriam ser dimensionados para receber um número inteiro de peças, uma modulação de caráter prático funcional (ROSSO, 1976; BYRNE, 1970).

Próximo à Revolução Industrial, o conceito dimensional de módulo faz a interligação entre a concepção de projeto e a produção industrial. Em 1851, Paxton projeta o edifício Crystal Palace, baseando-se num reticulado modular de 8 pés (244 cm), condicionado pelas dimensões máximas das chapas de vidro. Essa técnica modular permitiu a utilização e a conectividade de elementos construtivos distintos na sua composição, como as chapas de vidro, a estrutura metálica e as esquadrias de madeira (ROSSO, 1976; BYRNE, 1970).

Em 1927, na “Weissenhof” de Stuttgart, Walter Gropius experimenta a montagem a seco de painéis divisórios padronizados sobre uma estrutura metálica de planta modular (BYRNE, 1970). E, em 1932, desenvolve a “casa ampliável”, uma habitação mínima que podia crescer pela adição de novos componentes. Esses componentes eram basicamente painéis de madeira autoportante, revestidos internamente com placas de fibrocimento e externamente com chapas corrugadas de cobre (BRUNA, 2002). Até então, em termos tecnológicos, essas casas eram os exemplos mais aprofundados sobre os estudos de modulação. Seus projetos apresentavam uma precisa justificação técnico-produtiva, onde se aplicou a coordenação dimensional em uma malha de referência das três dimensões das edificações, e ainda, preocupou-se com os tempos e custos de montagem (GRISOTTI, 1971 *apud* BALDAUF, 2004).

Em 1936, o americano Alfred Farewell Bemis expõe em seu livro “The Envolving House” uma técnica de coordenação modular voltada para as necessidades da industrialização, denominada “método modular cúbico”. Ele é considerado o pioneiro no domínio da teoria da coordenação modular (ROSSO, 1976; BRUNA, 2002). Neste livro, Bemis prevê que as partes constituintes das casas seriam produzidas em série, e para isso, propôs a utilização de um módulo cúbico e concebeu uma malha constituída por módulos, na qual o edifício seria projetado nas três dimensões. A tese de Bemis era que todos os elementos num edifício poderiam ser combinados racionalmente dentro da mesma malha, se fossem dimensionados múltiplos de um módulo. Essa era a

primeira idéia de uma coordenação modular, uma coordenação de dimensões baseada na utilização de um módulo simples. Estas idéias foram repercutidas nos primeiros estudos realizados sobre coordenação modular na Europa e nos Estados Unidos (BYRNE, 1970).

Os percussores de Alfred Farewell Bemis adotaram o módulo-dimensão de 4 polegadas (10,16 cm), conforme havia sido sugerido em 1925 pelo engenheiro Fred Head, considerando-se que esta dimensão daria uma flexibilidade adequada e também que estava relacionada com a dimensão utilizada nos estudos das casas em madeira americanas (BYRNE, 1970).

Nesse meio tempo, em 1945, Le Corbusier, com a concepção do “Modulor”, busca o retorno das relações das medidas antropométricas com as medidas arquitetônicas. Porém, Rosso (1976) ressalta que apesar de ser um mérito e uma contribuição de Le Corbusier para o equacionamento do problema, ele imaginou uma aplicação do “modulor” como um instrumento de condicionamento da arquitetura à escala humana, e não um meio de coordenação entre projeto e produção.

Já em 1941, Walter Gropius e Konrad Wachsmann, contratados pela empresa americana General Panel Corporation, aplicaram o conceito de retículos modulares para painéis de madeira, conhecido como “General Panel System”, um sistema construtivo pré-fabricado em casas compostas por painéis padronizados de madeira. O sistema universal correspondia aos requisitos de fabricação industrial e baseava-se na aplicação de uma malha modular de 3 pés (91,44 cm) e 4 polegadas (10,16 cm). As juntas metálicas universais permitiam a conexão de painéis tanto em sentido horizontal quanto vertical, sem precisar ocupar uma posição pré-determinada. Pois nas palavras de Waschann “construção significaria montagem”, determinando redução de tempo, movimento e energia (CABRAL, 2001; BYRNE, 1970).

O arquiteto Frank Lloyd Wright também considerava a modularidade um princípio básico na composição arquitetônica. Ele projetava sobre uma malha quadriculada modular que guiava o posicionamento dos componentes da construção. As dimensões de seus módulos variavam em cada projeto. Essa malha, que para Wright era mais focada na economia e redução do esforço da mão-de-obra do que um suporte para criação da forma e espaço arquitetônico, foi essencial para o desenvolvimento de práticas industriais (KUCKER, 2002).

A utilização do módulo na arquitetura foi intensificada após a 2ª Guerra Mundial, quando muitos países, passando por processos de recuperação dos efeitos da guerra, necessitavam suprir a carência

habitacional por meio de métodos construtivos simplificados, rápidos e de custo baixo. Seguindo esses requisitos estabelecidos pela situação emergente da época e pelo aumento da demanda de empreendimentos de construção, novas idéias sobre eficiência construtiva foram introduzidas na produção industrial. Isso resultou na criação de regras e critérios dimensionais para os elementos construtivos. A modulação foi, nesse contexto histórico, utilizada de forma generalizada nas composições de edificações como um modo de projetar visando a rentabilização máxima (CUPERUS, 2001).

2.1.3. Princípios da Coordenação Modular

Durante a 2ª Guerra Mundial e nos anos seguintes, muitos países se esforçaram para definir sistemas de coordenação modular que adotassem um módulo universal que permitisse a combinação de produtos nacionais e internacionais. Mas, foi só realmente a partir dos anos pós-guerra que se estudou a aplicação dos princípios de coordenação modular às técnicas de construção. Por iniciativa da “Agência Européia da Produtividade”, vários países, como Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, França, Grécia, Itália, Noruega, Países-Baixos, Reino Unido, Suécia, Estados Unidos e Canadá, formaram um grupo de trabalho e contribuíram para formular os princípios que orientam a coordenação modular (BYRNE, 1970).

Inicialmente, adotou-se o módulo de 4 polegadas proposto por Bemis como o mais racional para a coordenação dimensional das construções. Em 1946, foi publicado nos Estados Unidos, o projeto A62 - *Guide for Modular Coordination* (ADAMS, BRADLEY, 1946). Este guia para arquitetos e engenheiros usa a coordenação modular nos projetos e construções, definindo um módulo básico de 4 polegadas.

Mais tarde, Jean Pierre Paquet, na França e Lennart Bergwall, na Suécia propuseram o módulo de 10 cm para o sistema métrico decimal, correspondente ao módulo de 4 polegadas, que equivale, aproximadamente, à 10,16 cm. Por alguns anos, as experiências e opiniões de cada país sobre a teoria da coordenação modular foram recolhidas e colocadas em prática para verificar a adoção do módulo decimétrico (ROSSO, 1976; BYRNE, 1970). Então, confirmou-se a adoção do módulo básico de 10 cm, através a atuação de várias entidades internacionais, incluindo a International Standard Organization (ISO 1006, 1983) .

Segundo Rosso (1976), o módulo básico de 10 cm foi escolhido por ser de fácil uso na indústria de materiais, atendendo os requisitos da pré-fabricação, e por facilitar a transição do sistema inglês de medidas para o sistema métrico. No entanto, os Estados Unidos ainda não aplicam o módulo de 10 cm.

O Brasil também promoveu estudos sobre a coordenação modular. Em 1946, foi formada uma comissão para tratar da coordenação modular das construções. Em 1947, foi concluído o primeiro projeto de norma sobre o tema e, em 1950, foi publicada a norma NB-25R: Modulação das Construções. Esta foi revisada pela Comissão de Coordenação Modular da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) resultando na norma NB-25: Coordenação Modular da Construção, publicada em 1969 (GREVEN, BALDAUF, 2007).

No Brasil, o setor de construção civil inicialmente não se interessou pela normalização, pois estava direcionado às classes mais abastadas e não preocupadas com a redução de custo. No entanto, na década de 70, quando houve necessidade de produção maciça de habitação de interesse social, o país carecia de uma solução tecnológica voltada para a racionalização construtiva e a redução de custos. A tecnologia apresentada na época era precária, e, conseqüentemente, o tema coordenação modular foi relacionado de maneira equivocada às construções econômicas de baixa qualidade. Todavia, atualmente, devido às mudanças econômicas na produção de edificações e à competitividade de mercado, a coordenação modular surge como instrumento necessário para o aumento da produtividade e a redução de custos (LUCINI, 2001).

O país conta com aproximadamente 25 normas vigentes sobre coordenação modular na construção há mais de 30 anos. Entretanto, estas são raramente usadas pelo meio técnico da construção, seja pelos projetistas quanto pelos produtores de insumos. Como conseqüência, há um aumento do desperdício da indústria pela baixa correlação entre os projetos e os materiais de construção. O projetista não usa os princípios da coordenação modular porque não foi treinado para isso e porque o mercado não exige. E o mercado não exige porque não conhece as normas e porque o projetista não especifica. Nesta relação, o consumidor perde, com a oferta de habitações de menor qualidade e de maior preço. Por isso, este trabalho visa retomar a discussão e disseminação da coordenação modular no setor habitacional brasileiro.

A coordenação modular, através da compatibilização dimensional, é prática para racionalização da construção. A utilização do módulo

padronizado permite a intercambialidade de vários sistemas construtivos. Fabricar produtos padronizados de acordo com dimensões múltiplas implica em ganho para a indústria, a qual pode produzir em maior escala e disponibilizar o produto com menor custo, utilizando os materiais próprios disponíveis em cada região. A diminuição dos custos dos elementos constituintes constitui uma vantagem para a aplicação de sistemas abertos na construção e em especial nas HIS.

A coordenação modular utiliza um vocabulário técnico específico. No Brasil, estes termos estão citados na NBR 5731 (1982), cujas principais definições estão listadas a seguir e ilustradas na Figura 4:

- **módulo:** é a distância entre dois planos consecutivos do sistema que origina o reticulado espacial modular de referência. É universalmente representado por “M” e é igual a 10 cm.
- **multimódulo:** é um múltiplo inteiro do módulo básico. Os recomendados são 2M e 3M, a serem utilizados em forma separada ou conjunta. Sugere-se que, quando no projeto se utilizar componentes modulares cujas medidas definem e regem o dimensionamento do projeto, é conveniente adotar suas medidas como multimódulos.
- **sistema de referência:** é a relação formada entre os pontos, linhas e planos com as medidas de posições dos componentes de construção.
- **reticulado modular espacial de referência:** é constituído pelas linhas de intersecção de um sistema de planos separados entre si, por uma distância igual ao módulo e paralelos a três planos ortogonais dois a dois. Esse reticulado tridimensional formado por planos ortogonais, configura uma malha espacial com linhas dispostas em distâncias de um módulo (1M), nessa malha serão posicionados os componentes de construção.
- **quadriculado modular de referência:** é a projeção ortogonal do reticulado espacial de referência sobre um plano paralelo a um dos três planos ortogonais.
- **zona neutra:** é uma zona não modular que separa reticulados modulares espaciais de referência que por razões construtivas ou funcionais necessitam ser separadas entre si. O seu emprego deve ser reservado a casos de absoluta necessidade.
- **medida modular:** é referente ao tamanho do módulo ou multimódulo, sempre valores inteiros, e a medida modular fracionária segue a fórmula $n \cdot M/4$.

- **medida de projeto:** é a que se determina no projeto para qualquer componente da construção. E **medida real** é a que se obtém ao medir qualquer componente da construção. Pode existir uma diferença entre as medidas de projeto e a medida real, e essa diferença máxima admissível é chamada de tolerância de fabricação. Essa tolerância varia com as características próprias de cada material, e também o próprio processo de fabricação pode ocasionar deformações em função do maior ou menor controle de qualidade, de medição e de posicionamento.
- **ajustes modulares:** relacionam as medidas de projeto com a medida modular. Os ajustes devem ser determinados pelo tipo de união, pela natureza e superfície dos materiais a unir, pelas características intrínsecas dos elementos que se utilizam na união e pela necessidade de se obter o ajuste das medidas dos componentes da construção com o reticulado espacial de referência.

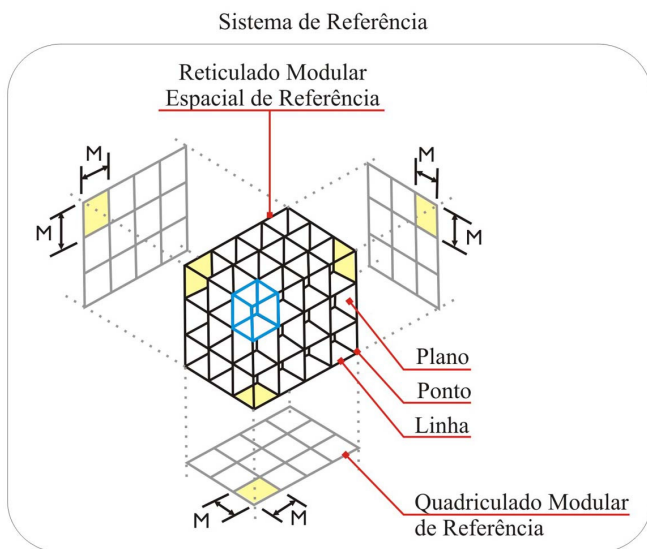


Figura 4: Sistema de Referência Modular

A coordenação modular utiliza um sistema de referência que apresenta dois elementos básicos: o reticulado modular espacial de referência e o quadrículo modular de referência. Este sistema auxilia no dimensionamento, no posicionamento e na conectividade dos

materiais e componentes. Conhecer previamente os componentes de construção, com suas dimensões e características físicas permite posicioná-los de forma mais adequada no quadriculado modular de referência. Assim, o domínio dos componentes não comprometerá na criação do projeto arquitetônico, nem limitará sua composição espacial apenas por ser modular.

A Figura 5 ilustra a aplicação do sistema modular de referência em um projeto de edificação. A casa, em perspectiva no espaço, é envolvida pelo reticulado espacial modular de referência, e a planta, o corte e a fachada estão rebatidos sobre seus respectivos quadriculados modulares de referência (BNH, IDGE, 1976).

O posicionamento no sistema de referência modular também deve facilitar o processo de montagem, pois, além do posicionamento e do dimensionamento, deve atender as necessidades de ajustes modulares. Esses ajustes incluem folgas e tolerâncias dimensionais, que são estabelecidas de acordo com os materiais aplicados, os sistemas construtivos utilizados e a mão-de-obra empregada. O objetivo dos ajustes é prevenir possíveis casualidades decorrentes de erros de fabricação, de posicionamento na obra ou também de deformações no material.

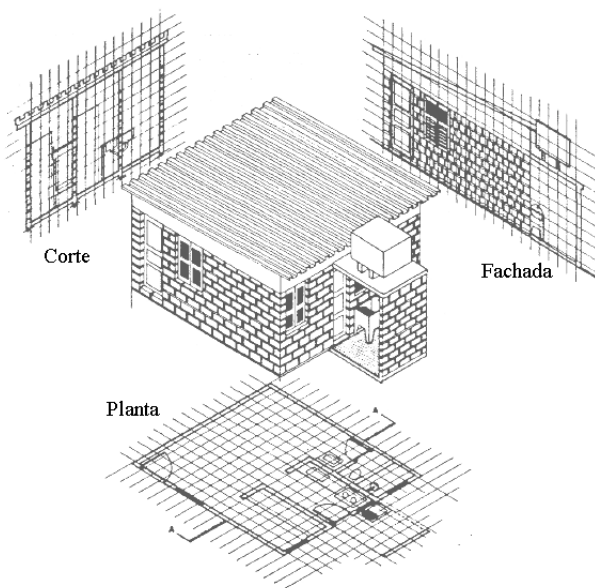


Figura 5: Aplicação do Sistema de Referência Modular (BNH, IDEG, 1976).

Todos estes conceitos e estas condicionantes de aplicação da coordenação modular apresentados nessa seção visam mostrar a possibilidade desta técnica de impulsionar a produtividade na construção civil, com a adoção de novas tecnologias para a produção dos elementos e componentes padronizados e compatíveis entre si e de novos processos e técnicas construtivas aplicados à modularidade.

Segundo Parizotto Filho (2004), as principais vantagens da aplicação da coordenação modular são:

- simplificação e a compatibilização dos projetos e das operações de execução, com maior precisão dimensional e locação da obra, facilitada pelo reticulado modular;
- padronização dos materiais e componentes, facilitando a produção em série, evitando quebras e a substituição;
- redução dos problemas de interface entre componentes, elementos e subsistemas;
- facilidade na utilização de técnicas pré-definidas;
- possível intercâmbio nacional e internacional das tecnologias de construção e das inovações nos materiais.

2.2. SISTEMA CONSTRUTIVO

Para o desenvolvimento desta seção, inicialmente, é necessário definir precisamente alguns termos comumente empregados no contexto da construção civil, como: técnica, método, processo, sistema, elemento e componente construtivos.

Define-se **técnica construtiva** como “um conjunto de operações empregadas por um ofício particular para produzir parte de uma construção” (SABBATINI, 1989, p. 23). Enquanto o **método construtivo** é “um conjunto de técnicas construtivas interdependentes e adequadamente organizadas, empregado na construção de uma parte (subsistema ou elemento) de uma edificação” (SABBATINI, 1989, p. 23). E o **processo construtivo** constitui em um conjunto de métodos construtivos bem determinados e específicos, ou ainda, “é um organizado e bem definido modo de se construir um edifício” (SABBATINI, 1989, p. 23).

Já, o **sistema construtivo** é considerado um processo construtivo mais complexo, melhor definido e tecnologicamente mais avançado. Sabbatini (1989, p. 29) define sistema construtivo como “um processo construtivo de elevados níveis de organização e industrialização,

constituído por um conjunto de elementos e componentes inter-relacionados e completamente interligados pelo processo”.

Completa-se essa definição de sistema construtivo com a seguinte descrição:

A edificação é observada como um conjunto de partes agrupadas compondo uma unidade. Este conjunto de partes é definido como um sistema construtivo e cada uma das partes como um subsistema elaborado individualmente, porém em coordenação com os demais para, coletivamente, atenderem os requisitos previamente determinados para a edificação (BONIN, 1987, p. 37).

Quanto a estas partes da edificação, subsistema, elemento e componente, adotam-se os conceitos da ISO 6241 (1984 *apud* CÉSAR, 2002, p. 56):

- **Subsistema** é a parte de um edifício composta por vários elementos construídos, preenchendo uma ou várias funções necessárias ao cumprimento das exigências do usuário.
- **Elemento** é o conjunto de componentes utilizados juntamente, montados, fixados e acabados no canteiro.
- **Componente** é o produto manufaturado em unidades de pré-fabricação como uma unidade distinta para servir a uma função específica ou várias funções.

Todos estes termos agora definidos, especialmente o relativo ao sistema construtivo, remetem a construção ao grau de industrialização. A industrialização está essencialmente associada aos conceitos de organização e de produção em série. Seu objetivo é implementar a escala da produção através de técnicas mais avançadas, com um resultado econômico e qualitativo. A industrialização, no seu primeiro momento histórico, está relacionada com o progresso tecnológico através da introdução da mecanização, ou seja, de ferramentas e máquinas mais evoluídas para a produção de bens. Em um segundo momento, transformam-se os mecanismos no sentido de ajustá-los à execução de determinadas tarefas. Nessa fase, a máquina substitui o homem na capacidade de repetir um ciclo sempre igual, focando a montagem em série, no entanto, a máquina ainda depende da ação do operário. Já na próxima fase da industrialização, a máquina é acionada pelo homem, mas funciona por conta própria, pois o seu controle é

automatizado, funcionando através de programas operacionais (BRUNA, 2002).

A industrialização contribuiu significativamente nas modificações substanciais da arte e da técnica de construir. Os componentes da construção passaram a ser manufaturados e então montados no canteiro. No entanto, segundo Bruna (2002), não se deve confundir industrialização com pré-fabricação. A pré-fabricação é uma fase de um processo de industrialização mais amplo e complexo, e pode ser entendida como uma racionalização do sistema de construção. Enquanto a industrialização envolve a organização e a produção em série, de acordo com uma mecanização no processo; a pré-fabricação consiste na fabricação industrial, fora do canteiro, de partes da construção que podem ser montadas no canteiro.

O sistema de produção da construção pode ser classificado como sistema fechado ou sistema aberto, os quais serão apresentados a seguir.

2.2.1. Sistema fechado

As idéias dos sistemas fechados foram as primeiras a serem difundidas no processo da introdução da industrialização na construção. Nestes sistemas, os componentes produzidos por uma empresa não são intercambiáveis e compatíveis com componentes de outra empresa. A compatibilidade existe apenas entre componentes, elementos e subsistemas de uma mesma indústria. A aplicação dos princípios dos sistemas fechados não é muito aceita, pois sua rigidez é conflitante com a situação do mercado de edificações que busca a aplicação da variedade de produtos disponíveis comercialmente (DORFMAN, 2002).

Segundo Rosso (1976), a industrialização fechada está estritamente vinculada à continuidade de mercado, pois a relação entre edificação e produto não pode se beneficiar da função estoque. Na industrialização fechada não é possível a escolha de componentes variados ou a permutabilidade destes. Geralmente, quando um produto é composto por peças específicas e exclusivas, o consumidor depende do mesmo fornecedor para efetuar possíveis trocas de peças, limitando o ciclo de vida do produto. Enquanto há demanda do produto, os seus componentes são fornecidos pela indústria, no entanto, quando há redução na demanda ou quando o produto sai do mercado, os componentes se tornam escassos, prejudicando os clientes que adquiriram o produto, e consequentemente todo o produto é descartado e substituído por um novo.

Os sistemas fechados de construção, geralmente, não trabalham com a independência dos componentes pré-fabricados de cada subsistema. Dessa forma, a edificação reduz suas possibilidades de flexibilidade e intervenção, como a manipulação de volumes, o rearranjo espacial e a manipulação dos componentes dos subsistemas.

2.2.2. Sistema aberto

Os sistemas abertos caracterizam-se pela flexibilidade da construção. Nestes sistemas, a produção de componentes para o edifício não está limitada a um único fabricante e os componentes de diferentes fabricantes são intercambiáveis entre si. (SABBATINI, 1989). Em outra definição, diz-se que o sistema aberto consiste no encaixe de componentes que não foram concebidos por uma mesma pessoa (BLACHÈRE, 1977 *apud* CÉSAR, 2002).

Nos primeiros anos após a 2ª Guerra Mundial, o sistema aberto era apresentado como solução racional para habitações mínimas. Ele consiste em pré-fabricar elementos, acrescentando as possibilidades de especialização, de padronização e de produção em massa. As características básicas de um sistema aberto são definidas por: **peças substituíveis** por outras de diferentes origens; **peças intercambiáveis**, podendo assumir diferentes posições na composição espacial arquitetônica de uma mesma obra; **peças combináveis** entre si, formando conjuntos múltiplos e maiores; e **peças permutáveis** por uma peça maior ou por um conjunto de peças menores (BRUNA, 2002). Os sistemas abertos baseiam-se nas técnicas da coordenação modular, a fim de viabilizar os requisitos de intercambialidade e combinabilidade dos seus elementos e a flexibilidade da construção.

A flexibilidade de um sistema construtivo é a capacidade de compatibilizar o maior número possível de combinações de componentes, elementos e subsistemas. Segundo Bonin (1987, p. 48), “o conceito de flexibilidade está relacionado com a possibilidade de se produzir diferentes edificações a partir de um conjunto de subsistemas e com a possibilidade de se alterar a edificação facilmente durante o tempo de uso utilização”. Além da satisfação do usuário pela composição espacial adaptada a sua necessidade, a flexibilidade é também interessante para possibilitar a aplicação de materiais disponíveis regionalmente.

Sobre a flexibilidade de um conjunto de subsistemas, o Educational Facilities Laboratories – EFL (1963 *apud* BONIN, 1987) descreve quatro aspectos a serem enfocados:

- **variedade espacial:** utilizar os mesmos conjuntos de subsistemas para a produção de diferentes edificações ou de diferentes espaços funcionais que atendam uma ampla faixa de necessidades dos usuários;
- **mudança imediata:** relacionado com a realização de pequenas alterações na edificação, necessárias em sua operação diária.
- **variabilidade a longo prazo:** realização de consideráveis rearranjos dos espaços funcionais durante o tempo de utilização da edificação. Este aspecto permite o planejamento prévio de uso futuro da edificação prevendo a possibilidade de se alterar os espaços através de desmontagem e remontagem dos subsistemas sem a necessidade de ajustes especiais.
- **expansão:** aumento da capacidade funcional da edificação através de acréscimos que não demandam custos elevados em demolições e interrupções da atividades dos usuários.

Agregar as características da flexibilidade dos sistemas abertos às construções de habitações sociais permitirá aos moradores adequarem os espaços construídos às exigências de suas novas situações. Este fator é importante, pois “para a maioria da população, as condições financeiras não permitem a aquisição de uma habitação que atenda, desde o início, todas suas necessidades” (INO, 1992, p.236).

A composição e a produção dos subsistemas, elementos e componentes da construção padronizados estão diretamente relacionados com a capacidade de cumprir os requisitos de flexibilidade, permutabilidade, compatibilização e conectividade nos sistemas abertos.

2.3. CONECTIVIDADE E COMPATIBILIDADE NOS SISTEMAS ABERTOS

A indústria da construção está mudando a forma de construir em canteiro usando elementos básicos para um processo de montagem: partes completas e complexas de edifícios são manufaturadas nas fábricas e montadas no canteiro de obras. Essa evolução tem resultado em processos construtivos mais eficazes, com a redução do tempo de

construção e o aumento da qualidade das partes. Entretanto, a qualidade global do edifício não é determinada somente pela qualidade das partes componentes, mas principalmente pela maneira com a qual elas são unidas (PEREIRA, 2005).

A intercambiabilidade e a versatilidade dos sistemas abertos dependem da viabilidade de união e conexão entre subsistemas, elementos ou componentes. As interfaces entre as partes são as áreas de contato, união ou interferência entre estas.

Em alguns países, a ênfase da coordenação, que antes era focada apenas na posição e na dimensão das partes da edificação, agora é focada também na conectividade delas. Na coordenação conectiva, segundo a denominação de Cuperus (2001), a importância não está apenas na quantidade de elementos construtivos a serem utilizados, mas também na possibilidade de conectividade entre os diversos elementos e subsistemas. Com esse pensamento, a qualidade da edificação em geral não é apenas determinada pela qualidade das suas partes, mas também pela forma com a qual estas são reunidas e conectadas entre si. Para manter elevado o nível de qualidade, tais conexões devem estar bem definidas e coordenadas, pois só assim dois ou mais componentes serão posicionados na edificação sem a necessidade de adaptações ou retrabalho.

Nos sistemas abertos, devem ser seguidas regras de dimensionamento, posicionamento e interface de elementos. Os elementos produzidos, inclusive quando de indústrias distintas, podem se relacionar e gerar diversas combinações entre si, desde que estes respeitem um padrão dimensional e qualitativo. Este critério de coordenação dimensional possibilita a utilização polivalente dos elementos, e, conseqüentemente, uma diversidade de composição espacial arquitetônica com qualidade. A aplicação da coordenação modular é requisito essencial nos sistemas abertos (BRUNA, 2002; CÉSAR, 2002).

A adoção da coordenação dimensional e a normalização de elementos e de componentes visam organizar as dimensões da construção, de maneira a reduzir a variedade de tamanhos de componentes produzidos, permitindo seu uso sem modificações no canteiro-de-obra e garantindo flexibilidade de composição arquitetônica.

No entanto, a maioria das indústrias de materiais de construção limita-se a produção de suas unidades sem a menor preocupação em oferecer um produto que seja coordenado em relação aos demais. Não há preocupação com a pesquisa dimensional e com a oferta de material

de catálogo, ou seja, de material aplicado aos sistemas abertos. Cada empresa, ou grupo de empresas, orienta-se segundo critérios próprios, direcionadas à fabricação dos produtos finais e não à fabricação de componentes coordenados (BRUNA, 2002).

Esta situação é percebida na dificuldade, encontrada por muitos, de combinar no canteiro produtos provenientes de diferentes fábricas. Para solucionar estes constantes conflitos, é necessário estabelecer critérios e condicionantes que assegurem a conectividade e compatibilidade das partes da edificação. Apesar dos produtos serem fabricados a partir de diferentes materiais, processos, técnicas e precisões dimensionais, deve haver uma normalização destes para permitir sua permutabilidade na construção.

A normalização dos componentes, segundo Rosso (1976), se propõe à obtenção de produtos idênticos que adotam uma linguagem comum e características básicas definidas por uma norma de uso e desempenho, a fim de permitir sua permutabilidade. A normalização constitui-se em: simplificação, tipificação, unificação, padronização e integração.

A **simplificação** é a otimização e a eliminação dos supérfluos do componente. A **tipificação** é a redução dos tipos e a classificação de tipologias através da análise de suas características funcionais, construtivas e morfológicas. A **unificação** reduz os tipos através da combinação de duas ou mais classes de elementos. A **padronização** consiste na aplicação da simplificação, da tipificação e da unificação, acrescentando a permutabilidade. Padronizar significa uniformizar, criar um modelo. E, por último, a **integração** é a associação de produtos de categoria e de procedência distintas, idênticos ou não, propiciando a unidade, a continuidade e a harmonia do produto final.

A integração de um ou mais elementos ou subsistemas é sustentada pelo conceito de compatibilidade. Segundo Bonin (1987), a compatibilidade envolve os aspectos funcionais, dimensionais, físicos e simbólicos:

- **compatibilidade funcional:** é a integração entre subsistemas que satisfaçam um determinado requisito funcional da edificação;
- **compatibilidade dimensional:** está relacionada com a coordenação modular das dimensões físicas dos subsistemas, considerando suas tolerâncias. Estuda as condições de se unir, justapor ou traspasar dois subsistemas sem a necessidade da realização de ajustes especiais;

- **compatibilidade de material**: estuda os efeitos das interações físicas, químicas e biológicas existentes na interface dos subsistemas, identificando processos de degradação e perda da qualidade dos materiais constituintes dos subsistemas;
- **compatibilidade simbólica**: está relacionada à reação perceptiva dos usuários ao conjunto integrado de subsistemas.

A integração das partes pode ser conseguida através de três condições de compatibilidade: **geométrico-dimensional**, mediante a aplicação dos princípios da coordenação modular; **associativa ou mecânica**, através da normalização das juntas; e **funcional**, relacionada ao desempenho da edificação como um todo e de suas partes (ROSSO, 1976).

Todavia, a questão de padronizar juntas, conforme citado na compatibilidade associativa ou mecânica, é um processo complicado de solucionar. Pois, atualmente o mercado disponibiliza uma variedade de componentes construtivos, com composições distintas e específicas e com precisões dimensionais de fabricação em função do processo tecnológico envolvido.

Na compatibilidade geométrico-dimensional, um dos princípios da coordenação modular prevê a existência de ajustes e tolerâncias dimensionais objetivando tratar as dificuldades de conexão entre componentes a fim de permitir a intercambiabilidade. Tais folgas de prevenção são estabelecidas para evitar problemas decorrentes de erros de fabricação, erros de posicionamento na obra, ou também de deformações no material.

O **ajuste** é a diferença entre a medida modular e a medida de projeto (Figura 6). Ele destina-se a articular a união entre componentes e entre estes e a quadrícula de referência. Cada componente inserido na quadrícula modular de referência tem uma medida modular “nM”, ou seja, é a distância entre os eixos de referência, por isso sempre apresenta valores inteiros múltiplos do módulo básico, conforme ilustrado na Figura 6, detalhe 1. E, a medida de projeto, diferente da medida modular, não considera as dimensões das juntas do componente, ou seja, a medida de projeto é a subtração entre a medida modular e as dimensões das juntas (NBR 5725, 1982; ROSSO, 1976).

A **junta** de projeto é a distância prevista no projeto entre os extremos adjacentes de dois componentes da construção, como mostra a Figura 6 no detalhe 2. É um espaço previsto para não haver quebras de

componentes, permitindo montagem sem dificuldade e respeitando a quadricula modular de referência. As variações dimensionais, os efeitos de fenômenos físico-químicos e as necessidades especiais de montagem determinam as **folgas** (ROSSO, 1976).

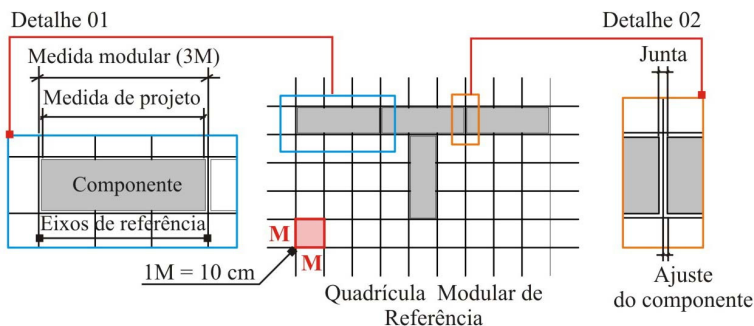


Figura 6: Diferença entre medida modular e medida de projeto

Na produção de componentes, nem sempre se consegue que a medida real siga exatamente a medida de projeto. A diferença admissível existente entre a medida real e a medida de projeto é a chamada **tolerância** de fabricação, a qual pode variar conforme as características do material e do processo de fabricação. Quanto mais preciso e sofisticado o processo de fabricação menor será essa diferença de medidas. A tolerância prevê também limites para possíveis erros de execução de posicionamento, esquadro e prumo no canteiro. Quanto menor a tolerância, maior o nível de industrialização da produção dos componentes e mais fácil é de compatibilizar tais componentes entre si. No entanto, uma vez que os processos de fabricação no Brasil não são totalmente industrializados, querer obter um componente de tolerância dimensional mínima pode não ser conveniente, pois acresce seu custo.

Tal coordenação entre as partes da edificação visando sua conectividade e compatibilidade inclui também a previsão do processo de montagem. Quanto melhor definidos os elementos e subsistemas da construção e quanto mais claro é o entendimento sobre o processo de montagem destas partes, mais qualidade terá a edificação em razão do alcance da conectividade destas partes.

O Projeto para Montagem (*Design for Assembly*, DFA) exige que os projetistas vejam o produto como um todo e procurem um projeto que contribua para uma montagem eficiente. O custo da montagem é proporcional ao número de partes do produto. Então, reduzir o número

de partes a um mínimo e fazê-las de modo a serem montadas do modo mais fácil possível, reduz o custo total da manufatura (OLIVEIRA, 1990).

Alguns princípios e recomendações do Projeto para Montagem, sob a visão da manufatura, podem ser aplicados às necessidades do processo de montagem na construção. No desenvolvimento de um produto, o Projeto para Montagem “envolve o projeto do produto, verificando funções, formas, materiais e processo de montagem. Gera redução de custos em razão do tempo de montagem, redução de componentes e, muitas vezes, a simplificação da manufatura” (ROZENFELD et al, 2006, p. 269).

A idéia básica no projeto para a montagem é primeiro reduzir o número de componentes (partes e peças) que devem ser montados, e, então, assegurar que os componentes remanescentes sejam fáceis de montar e fabricar, reduzindo o custo total da montagem, e também satisfazer as especificações funcionais (ROZENFELD et al, 2006, p. 275).

Os principais princípios do Projeto para Montagem, segundo Rozenfeld (et al 2006, p. 275) são:

- simplificar, integrar e reduzir o número de peças, pois cada peça constitui uma oportunidade para defeitos ou erros de montagem. Poucas peças resultam em um menor esforço na manufatura de um produto;
- padronização e uso das partes comuns e materiais para facilitar as atividades de projeto e padronização da manipulação e das operações de montagem. Partes comuns reduzem o custo e melhoram a confiabilidade. O aprendizado do operador é simplificado e tem-se uma boa oportunidade de automação em função dos grandes volumes de produção e padronização das operações.
- projetar produtos e montagem à prova de erros, de modo que o processo de montagem não seja ambíguo. Os componentes devem ser projetados para serem montados somente em uma direção e para evitar ajustes;
- projetar partes que minimizem o esforço e a ambigüidade nas orientações e manipulações. O projeto do produto deve evitar partes que se tornem “emaranhadas” ou desorientadas. O projeto das partes deve incorporar simetria, detalhes facilmente

identificáveis, superfícies guias e pontos que facilitem a captação e manipulação.

- minimizar partes flexíveis e interconexões. Evitar partes flexíveis e frágeis, tais como: correias, tubulações, cabos e armações de arame. A flexibilidade torna as partes mais suscetíveis a danos e dificulta a manipulação do material e a montagem;

- projetar para a fácil montagem pela utilização de movimentos simples e minimização do número de eixos de montagem. Orientações complexas e movimentos de montagem em várias direções devem ser evitados. O projeto do produto deve propiciar que a montagem comece com um componente-base, sobre o qual as outras partes serão adicionadas. A montagem deverá ser procedida verticalmente com outras partes adicionadas no topo e posicionadas com auxílio da gravidade. Isso minimiza a necessidade de reorientar a montagem e reduz a necessidade de uniões temporárias e fixações complexas;

- projetar para união e fixação eficientes, utilizando a padronização para minimizar a variedade. Deve-se ter em mente que cada elemento de fixação é mais um componente a ser armazenado, manipulado e posicionado, e que estes não são baratos e são concentradores de tensões. Um excelente projeto terá poucos elementos de fixação, por outro lado, projetos pobres necessitam de vários e diferentes elementos de fixação para a sua montagem final;

- projetar produtos modulares para facilitar a montagem. Um projeto modular deve minimizar o número de partes e as variações da montagem e processos de manufatura. Esse procedimento minimiza o número total de itens a serem manufaturados, conseqüentemente reduzindo os itens de controle e melhorando a qualidade. Módulos podem ser manufaturados e montados em paralelo para reduzir o tempo global de produção do produto, e são mais facilmente testados antes da montagem final;

Deste modo, a montagem pode ser simplificada, facilitada, mais rápida e confiável se os componentes a serem montados são identificados facilmente, se as instruções de montagem são fáceis e seguidas prontamente, se nenhum ajuste tem que ser repetido e se a remontagem dos componentes anteriormente montados é evitada.

O tipo de montagem depende do grau de industrialização envolvido no processo de produção e das técnicas adotadas nesse processo.

2.4. INDUSTRIALIZAÇÃO DAS HABITAÇÕES EM MADEIRA

Segundo Martucci (1990 apud SZÜCS et al, 2007), os processos construtivos podem ser classificados pela complexidade das suas etapas produtivas em: não-industrializados, semi-industrializados e industrializados.

Os **processos não-industrializados** apresentam baixa escala de produção e baixa produtividade no canteiro. Nessa classificação, encontram-se os métodos artesanais e os métodos tradicionais. Os métodos artesanais, geralmente, utilizam materiais disponíveis no local sem transformação ou beneficiamento, enquanto os métodos tradicionais, utilizam materiais já beneficiados e mão-de-obra semi-qualificada que opera ferramentas simples na produção da construção (SZÜCS et al, 2007).

Os **processos semi-industrializados** utilizam equipamentos mais sofisticados na linha de produção e transformação dos componentes. Pode ser visto como um processo tradicional racionalizado, ampliando os critérios de desempenho dos componentes, dos elementos e dos subsistemas. Os componentes e os elementos são fabricados segundo as especificações de projeto. Nos processos semi-industrializados inclui-se também o processo parcialmente pré-fabricado, no qual os elementos construtivos são produzidos nas fábricas e levados ao canteiro, onde serão montados (SZÜCS et al, 2007). Esse quesito da montagem da edificação por partes, conforme mencionado anteriormente, deve considerar os princípios de coordenação dimensional e modular, de compatibilidade e de conectividade para proceder uma montagem eficiente.

Finalmente, os **processos industrializados** são os totalmente pré-fabricados. Diferencia-se especialmente pela produção em série, altamente automatizada. Nesse processo, não somente os componentes, os elementos e os subsistemas construtivos são pré-fabricados, mas sim o sistema construtivo total, o qual é transportado para o canteiro já finalizado. A mão-de-obra deve ser especializada para a montagem no canteiro e os prazos de construção são reduzidos (SZÜCS et al, 2007).

Após a 2ª Guerra Mundial, os Estados Unidos defrontou-se com a necessidade de produção em massa de casas. A industrialização

sobreveio e a pré-fabricação em madeira foi intensamente explorada para as construções nesse período. Os sistemas construtivos realizados em fábrica tinham como finalidade as reduções do custo, da energia gasta na produção, do tempo total despendido na construção e da necessidade de mão-de-obra especializada no canteiro.

Na América do Norte, o sistema de construção em madeira caracteriza-se pela praticidade, pela flexibilidade de modulação, pela industrialização das peças e pelo tempo de construção reduzido. Segundo O'Brien, Wak'Efield e Beliveau (2000), os principais sistemas industrializados são: casa modular (*modular home*), casa composta por painéis (*panelized home*) e casa em kits (*kit home* ou *stick built home*).

Para caracterizar a **casa modular**, retoma-se a definição do módulo, segundo a visão da manufatura, como um componente ou unidade independente que possibilita a padronização e a intercambialidade, permitindo a criação de variedades. Na casa modular, os módulos múltiplos são construídos nas fábricas como unidades individuais, utilizando as técnicas do Sistema Plataforma em madeira (Figura 7). Depois de finalizados, eles são transportados por caminhões ao canteiro, onde são instalados e unidos sobre as fundações permanentes. A fundação deve ser executada de forma rigorosa a fim de encaixar-se aos módulos sem problemas de execução e montagem. Uma das principais vantagens da casa modular é a montagem rápida e a redução total do tempo de construção. No entanto, esta deve ser bem projetada, já que não permite alterações do projeto no canteiro. O detalhamento e a precisão das dimensões dos módulos individuais são rigorosos, objetivando a facilidade na montagem final e as conexões entre módulos (Figura 8).



Figura 7: Casa modular na etapa de fabricação (PATH, 1998).

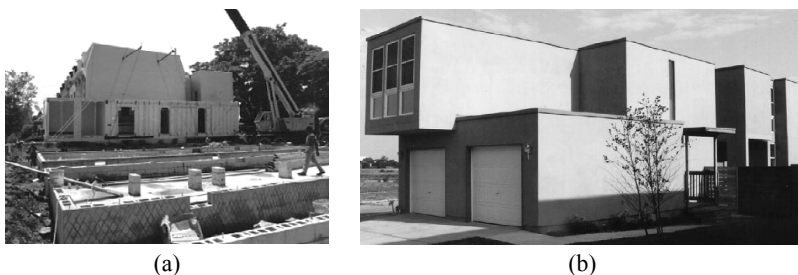


Figura 8: Casa modular na etapa de montagem (a) e finalizada (b) (PATH, 1998).

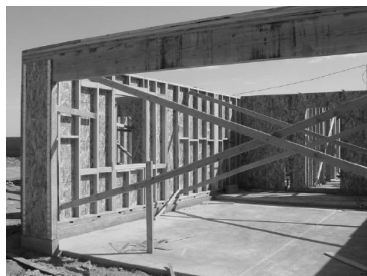
Na **casa composta por painéis**, os subsistemas da construção, tais como os painéis de paredes e pisos, são precisamente cortados e montados em sequência na fábrica (Figura 9). Posteriormente, são enviados ao canteiro onde são unidos sobre uma fundação permanente. Os painéis de parede podem ser abertos ou fechados. São considerados abertos quando a ossatura da parede é revestida por chapas apenas no lado exterior, enquanto o interior permanece sem vedação para a adição da instalação elétrica e hidráulica no canteiro (Figura 10). Os painéis fechados são aqueles em que a parede é inteiramente montada na fábrica, inclusive as partes elétricas e hidráulicas (Figura 11).



Figura 9: Etapa de fabricação dos painéis (CMHI, 2007).



(UFPI, 2005)



(PATH, 2005)

Figura 10: Montagem da casa composta por painéis abertos



Figura 11: Exemplo de painel fechado com instalações hidráulicas (BENSONWOOD, 2006).

Por fim, nas **casas em kits**, todas as peças são cortadas na fábrica conforme especificação do projeto. O conjunto total de peças é transportado até o canteiro e montado a seguir (Figura 12). Os conjuntos podem ser diferenciados por função dos componentes na construção, como sistemas de vedação, piso, cobertura e esquadrias. Esse sistema é o menos industrializado dos três citados anteriormente e requer maior esforço e tempo para montagem no canteiro. No entanto, permite maior diversidade de formas. Pode ser visto também como os kits faça-você-mesmo.



Figura 12: Etapa de execução da casa por kits (*stick-built home*) (TOPPING et al, 2004).

A execução de unidades completas na indústria não permite a sua alteração posterior no canteiro. No sistema de casas modulares, o cliente seleciona, na etapa de projeto, as unidades de ambientes que, unidas no canteiro, irão compor a edificação. No estágio atual, esses ainda são sistemas fechados, pois não há permutabilidade e disponibilidade de unidades de diferentes empresas construtoras para compor uma mesma edificação. No entanto, com o avanço da indústria, estes podem ainda se tornar sistemas abertos, permitindo a anexação de unidades de diferentes procedências de acordo com a necessidade e a escolha do cliente.

Nas casas modulares e em kits, em casos de alterações necessárias ocasionadas por danos em alguma peça ou por desejo do cliente, não haverá disponível comercialmente um elemento pré-fabricado para substituição, ocasionando maior trabalho de reparo com o uso de técnicas tradicionais.

Em contrapartida, o sistema de casa composta por painéis permite a montagem de painéis coordenados em obra. Quando necessário estes painéis podem ser substituídos por outros que se encaixam no seu vão modular. Este sistema apresenta as características básicas de um sistema construtivo aberto, como flexibilidade, permutabilidade, intercambialidade e combinabilidade. A possibilidade de alterar a composição espacial é importante na construção de HIS no Brasil, pois as alterações pós-ocupacionais fazem parte da cultura dos usuários. São alterações tanto de rearranjo de ambientes, como de evolução da edificação com a adição de novos ambientes construídos.

A coordenação dimensional está presente na construção de casas modulares, por painéis e em kits, como um instrumento de projeto, organização e sistematização. A coordenação e a precisão dimensional

são significantes na etapa de montagem das partes da edificação no canteiro, a fim de facilitar a união dos subsistemas e dos componentes de construção.

No entanto, estes principais sistemas industrializados adotados principalmente pelos países norte-americanos não são costumeiramente praticados na construção de habitação em madeira no Brasil. O tipo de industrialização mais semelhante à prática de construção em madeira dita pré-fabricada no Brasil seriam as casas em kit. Em uma pesquisa realizada, em 2008, na cidade de Florianópolis, no estado de Santa Catarina, foram entrevistadas 07 empresas de casas pré-fabricadas em madeira. Neste diagnóstico, percebeu-se que a cadeia produtiva de construções em madeira da região trabalha na sua maioria com casas pré-fabricadas de peças pré-cortadas nas indústrias conforme são dimensionadas nos projetos e depois transportadas ao canteiro onde são montadas. O sistema construtivo de madeira mais utilizado por estas empresas é o de tábuas horizontais aparelhadas e encaixadas pelo sistema macho e fêmea, posicionadas nas reentrâncias dos montantes maciços, conforme detalhado na Figura 13.

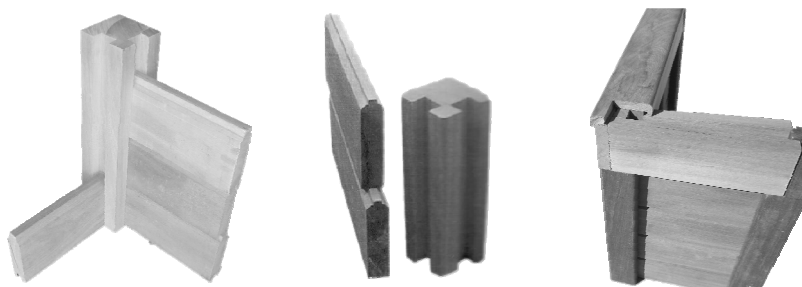


Figura 13: Detalhes das tábuas aparelhadas pelo sistema macho-fêmea e encaixadas em montantes maciços (adaptado de HUMAITÁ, 2008)

Apesar de serem casas pré-fabricadas, observou-se que as condições do processo de produção e de infra-estrutura das indústrias brasileiras estão atrasadas quando comparadas às empresas internacionais. Existe uma diferença entre os países europeus e norte-americanos e o Brasil em relação às tomadas de decisões e aos investimentos para a inovação do uso da madeira na construção de edificações eficientes e confortáveis.

Os países europeus e norte-americanos utilizam sistemas construtivos mais avançados, como o sistema leve em madeira – Sistema Plataforma, que possibilita a construção de edificações seguras, confortáveis, duráveis e com grande versatilidade de estilos e soluções

para os espaços construídos. Enquanto, as empresas brasileiras estão estagnadas nesse processo de evolução tecnológica, contribuindo para a continuação do preconceito relativo à qualidade da construção em madeira, devido o emprego inadequado da madeira e das técnicas construtivas.

O Sistema Plataforma em madeira apresenta características próprias que o tornam uma alternativa promissora e condizente com a realidade brasileira, na medida em que possibilita a construção de moradias com rapidez e qualidade, empregando materiais simples e facilmente encontrados no mercado nacional.

2.4.1. Sistema Plataforma em madeira

O sistema leve em madeira mais avançado é empregado em países como Estados Unidos, Canadá, Japão, países escandinavos e europeus. Segundo Sánchez (1995), este sistema surgiu como consequência da necessidade urgente de um sistema rápido para a colonização ou reconstrução destes países e também por disporem de produtos industriais e padronizados, como madeira serrada e pregos.

Segundo Benoît e Paradis (2007), as construções em enxaimel (*colombage*) são consideradas as antecessoras dos sistemas leves em madeira *Balloon-Frame* e Plataforma. No sistema enxaimel, os vazios entre as peças da estrutura de madeira eram preenchidos com materiais como alvenaria leve ou taipa. Entre os séculos XII e XVI, as primeiras construções em enxaimel utilizavam peças com comprimento correspondente à altura da edificação, indo desde a fundação até a cobertura, e com grande seção, chegando até 50 cm de lado (Figura 14a). O apogeu do estilo enxaimel com peças longas foi na Noruega, no século XII. No entanto, o tamanho e peso das peças dificultavam o manuseio das mesmas em ruelas estreitas e a montagem da estruturas no prumo. O segundo estilo enxaimel utilizava peças curtas, com a altura dos pavimentos, porém as seções das peças se mantinham grandes (Figura 14 b, c). Com peças curtas, a execução das construções era mais rápida. Porém, logo se tornaram onerosas pela grande seção das peças, as quais ainda apresentavam dificuldade para o seu manuseio por causa do peso excessivo.

O *Balloon-frame* surge no final do século XVIII nos Estados Unidos (Figura 15). As primeiras construções são em Chicago em 1840. Este sistema construtivo é marcado pela fabricação industrial de peças mais esbeltas, geralmente de seção 5 cm × 10 cm, em maior quantidade. A

estrutura do *Balloon-frame* é composta por inúmeras peças esbeltas, pouco espaçadas entre si, cuja altura acompanha desde a fundação até a cobertura. Essa ossatura é fechada por painéis estruturais de madeira (BENOÎT, PARADIS, 2007). No entanto, assim como o estilo enxaimel de peças longas, o *Balloon-frame* possuía limitantes semelhantes por causa de seus montantes de altura da edificação.

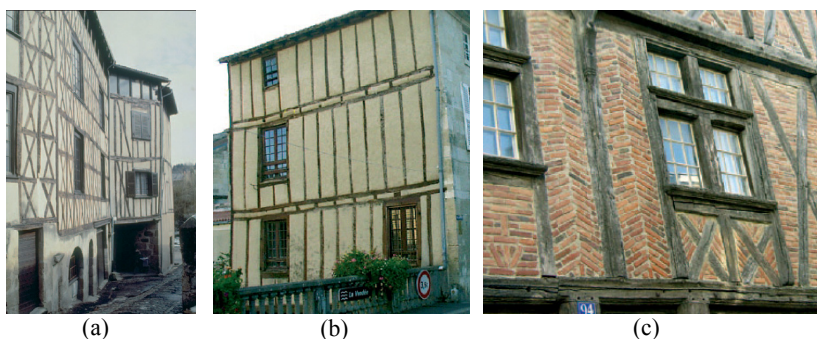


Figura 14: Enxaimel com peças longas (a); Enxaimel com peças longas nas extremidades e restante em peças curtas (b); e Enxaimel com peças curtas (c) (BENOÎT, PARADIS, 2007).



Figura 15: Sistema estrutural do *Balloon-frame* (KUCKER, 2002).

O *Balloon-frame* transformou-se no sistema construtivo Plataforma (*Platform System*), o qual constitui o padrão para a maioria das construções pré-fabricadas em madeira na América do Norte. O Sistema Plataforma apresentou mais vantagens que os sistemas em madeira tradicionais da Europa, os quais adotavam técnicas menos industrializadas, geralmente, com madeiras falquejadas em grandes seções. Este, com um conjunto estrutural leve em madeira, sobrepujou

seus antecessores, como o *Ballom-frame* e o enxaimel europeu, por apresentar maior facilidade e rapidez na execução, com pouca mão-de-obra e técnicas racionalizadas seguindo princípios da coordenação modular.

O Sistema Plataforma não apresenta o sistema estrutural na forma de pilares e vigas, mas é formado por um entramado estrutural composto por montantes e travessas de madeira maciça de pequenas dimensões e chapas estruturais. Os montantes têm comprimento restrito à altura de cada pavimento, são pouco espaçados entre si e geralmente unidos por pregos ou parafusos auto-atarraxantes. Essa ossatura é enrijecida por chapas estruturais em madeira compensada ou OSB (*Oriented Strand Board*), que dão estabilidade ao painel.

O sistema construtivo de estrutura leve em madeira foi desenvolvido como um sistema de construção coordenado. Os espaçamentos e o posicionamento dos montantes devem ser coincidentes com os espaçamentos das vigas do piso e das treliças da cobertura.

O Sistema Plataforma permite a construção no canteiro-de-obras, a pré-fabricação parcial e a industrialização completa. Ele pode utilizar elementos pré-fabricados e normalizados passíveis de serem montados facilmente. A escolha do grau de industrialização depende dos fatores relacionados com a realidade da técnica da construção local e da qualidade da mão-de-obra. Todavia, ressalta-se que a mão-de-obra deve ser treinada para evitar problemas de execução e conexão de componentes deste sistema construtivo. Pois, conforme Bittencourt (1995 *apud* DIAS, 2005), os sistemas leves em madeira apresentam aparente simplicidade construtiva, por empregar peças simples e com ligações comuns por pregos, mas exigem muito esmero na execução, pois cada erro cometido é ressaltado na integração do conjunto.

Segundo Sánchez (1995), o Sistema Plataforma em madeira apresenta as seguintes vantagens:

- pré-fabricação dos componentes padronizados em madeira, com destaque para o potencial de uso de madeira proveniente de florestas plantadas;
- racionalização no processo construtivo com aplicação da coordenação modular, reduzindo o desperdício de material;
- apresenta um alto grau de flexibilidade, tanto em relação ao projeto inicial, como também em modificações futuras, se necessárias;

- rapidez de execução devido à pré-fabricação;
- racionalização da mão-de-obra nas etapas de montagem;
- a união entre peças é bastante simples, sem juntas ou encaixes especiais, bastando o emprego de pregos ou parafusos, melhorando a produtividade;
- menor necessidade de espaço para instalação do canteiro de obras;
- peso reduzido da estrutura e consequente economia na execução das fundações;
- facilidade de impermeabilização e isolamento térmico da edificação, pois as cavidades existentes na ossatura permitem a passagem de instalações elétricas e hidráulicas e o preenchimento com materiais isolantes;

O conjunto estrutural do Sistema Plataforma é constituído basicamente pelos seguintes subsistemas: fundação, plataforma de piso, vedação vertical e cobertura, conforme ilustrado na Figura 16.

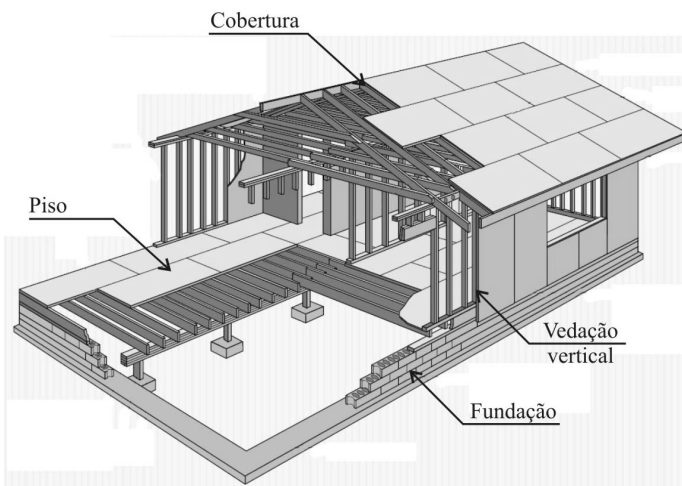


Figura 16: Subsistemas do Sistema Plataforma em madeira
(adaptado de APA, 1997)

As edificações construídas com estruturas leves em madeira geralmente apresentam cargas relativamente reduzidas, e por isso, suas fundações podem apresentar soluções simples e econômicas. A **fundação** adequada a ser adotada para cada construção varia conforme a

necessidade imposta pelo local da obra, podendo ser radier, sapata corrida, sapatas isoladas ou blocos estruturais (BENOÎT, PARADIS, 2007).

A estrutura do **piso** é composta por chapas estruturais fixadas nas vigas em madeira, resultando em uma plataforma de piso, sobre a qual se apóiam as paredes (Figura 16). As vigas do piso podem ser constituídas por peças de madeira maciça, madeira laminada colada para maiores seções, ou também vigas I compostas por banzos de madeira maciça e alma de chapa OSB.

As vigas são posicionadas paralelamente entre si, respeitando o mesmo espaçamento adotado para os montantes das paredes. As extremidades das vigas são apoiadas sobre soleiras de madeira que estão fixadas na fundação e, também nas extremidades, as vigas são travadas transversalmente por peças de fechamento constituídas geralmente de OSB ou LVL. Outras peças intermediárias de travamento são distribuídas ao longo do comprimento da viga conforme as larguras das chapas OSB que fecham a plataforma de piso (FEIRER et al, 1993).

As chapas de OSB sobre a plataforma de piso devem ser perpendiculares às vigas. Estas chapas podem ser revestidas por diversos tipos de materiais, tais como assoalho de madeira, pisos cerâmicos e carpete. O tipo de acabamento e o material para o assentamento influenciam na espessura da chapa estrutural, na necessidade de aplicar material impermeabilizante antes do assentamento e na adoção de outra camada de chapas para reforçar a estrutura (FEIRER et al, 1993).

A **vedação vertical** é composta por montantes e travessas superior e inferior, unidos por pregos e fechados por chapas estruturais de madeira, as quais proporcionam estabilidade e rigidez ao painel. Essa ossatura, composta por peças de madeira com pequenas seções e com alturas curtas que variam conforme o pé-direito da edificação, suporta e transfere as cargas atuantes para a fundação.

O posicionamento dos montantes nas paredes do Sistema Plataforma é estabelecido através de uma coordenação dimensional, variando em 30 cm, 40 cm ou 60 cm, de acordo com a carga suportada pelos mesmos. A seleção da espessura das chapas de OSB também deve respeitar o espaçamento máximo entre os montantes e os esforços solicitantes, e ainda deve incluir nessa consideração, a direção de aplicação da chapa e o tipo de revestimento a ser aplicado sobre ela (IRC, 2009). As chapas podem ser aplicadas horizontal ou verticalmente, e devem ser revestidas externamente por materiais

protetores conhecidos como “siding” para garantir proteção contra as intempéries. Internamente, o painel pode receber revestimento de chapas de gesso acartonado, as quais garantem acabamento estético e também proteção contra incêndio.

No Sistema Plataforma, a estrutura da **cobertura** pode ser composta por terças apoiadas em caibros pouco afastados entre si, por vigas I compostas de madeira maciça e OSB ou por treliças pré-fabricadas de peças de madeira maciça com pequena seção transversal (FEIRER et al, 1993). Sobre esta estrutura, são aplicadas chapas estruturais de madeira que funcionam como travamento das peças da estrutura. Antes de se posicionar as telhas e as ripas, deve ser aplicado sobre as chapas estruturais, um material para isolamento térmico e para impermeabilização. O tipo e o material da telha podem ser variados. Dependendo dessa escolha, as ripas são necessárias para o posicionamento adequando das telhas. Sendo que, a inclinação da cobertura corresponde ao tipo de telha aplicada.

2.5. DISPOSITIVOS DE LIGAÇÃO DO SISTEMA PLATAFORMA

Dispositivos de ligação são elementos que asseguram a união das peças estruturais e a transferência de esforços entre elas. Nas ligações em estruturas de madeira, os esforços entre as peças são transmitidos por meio de entalhes, pinos metálicos, conectores metálicos e adesivos, os quais podem ser aplicados de forma isolada ou simultânea (LE GOVIC, 1995).

No Sistema Plataforma, geralmente, as peças de madeira são unidas de forma simples com pregos e parafusos auto-atarraxantes. No entanto, para aumentar o desempenho mecânico das ligações, outros dispositivos, como as chapas metálicas, podem se adicionados para agirem em conjunto com os pregos e os parafusos.

A seguir, são descritos os principais dispositivos de ligação e sua aplicação na estrutura do Sistema Plataforma.

2.5.1. Pregos

Os pregos mais utilizados para estruturas leves em madeira são os pregos dos tipos liso, anelado e espiralado, ilustrados na Figura 17 (STALNAKER e HARRIS, 1997).

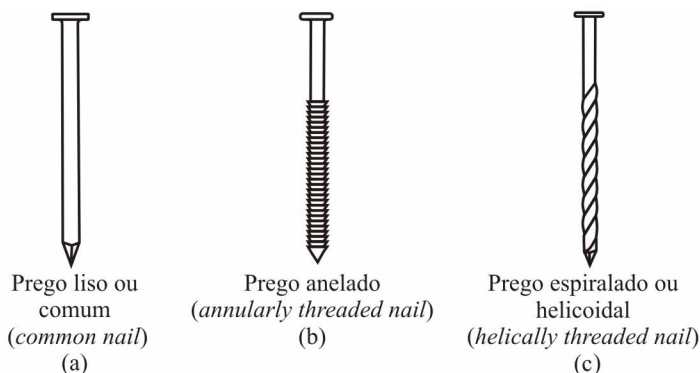


Figura 17: Pregos mais utilizados em estruturas leves em madeira

O prego comum é utilizado de forma geral nas construções, porém, sua haste lisa apresenta o inconveniente de se soltar mediante uma carga elevada ou com as alterações dimensionais oriundas da variação do teor de umidade das peças de madeira. Já, os pregos anelar e helicoidal são mais resistentes, suportando cargas de arrancamento maiores, devido a suas hastes com rugosidades que aumentam o atrito entre o prego e a peça de madeira (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

Segundo Benoît e Paradis (2007), nas ligações de sistemas leves em madeira, devem ser usados pregos helicoidais galvanizados ou zincados, com diâmetro mínimo de 3 mm para garantir o desempenho mecânico dessas ligações e evitar a corrosão e a oxidação destes pregos em contato com produtos de tratamento da madeira. Essas ligações devem apresentar uma quantidade mínima de pregos, com espaçamento adequado e projetado conforme as normas vigentes.

2.5.2. Parafusos

Os parafusos podem ser classificados em dois tipos principais: parafusos auto-atarraxantes (Figura 18) e parafusos comuns ou parafuso de porca e arruela (Figura 19). Os parafusos auto-atarraxantes são subdivididos em parafusos de rosca soberba (Figura 18a) e parafusos de cabeça sextavada e rosca soberba (Figura 18b). Enquanto que os parafusos de porca e arruela são subdivididos em comum (Figura 19a), francês (Figura 19b), rosca máquina (Figura 19c) e parafuso de ancoragem (Figura 19d) (STALNAKER e HARRIS, 1997). Destes, os parafusos auto-atarraxantes de rosca soberba e os parafusos de ancoragem são os mais aplicados nos sistemas leves em madeira.

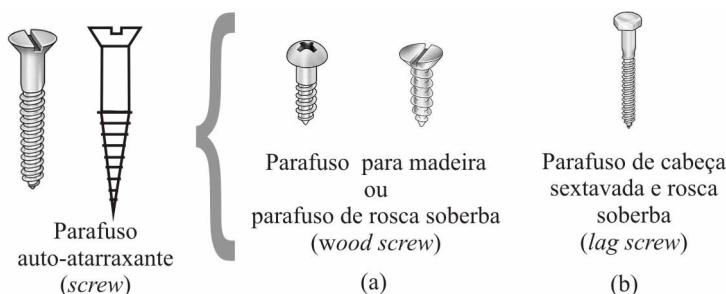


Figura 18: Tipos de parafuso auto-atarraxante

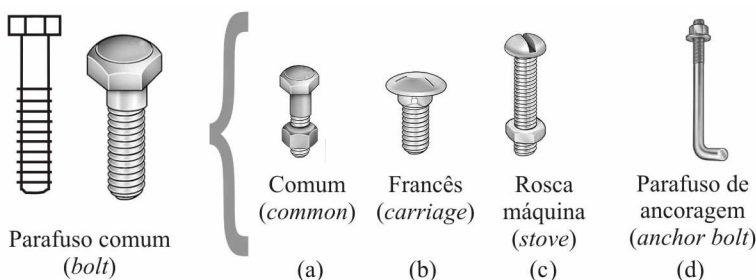


Figura 19: Tipos de parafuso comum

Os parafusos auto-atarraxantes de rosca soberba (Figura 18a) podem substituir os pregos na fixação de algumas peças, especialmente, na fixação das chapas estruturais de parede e piso. O Eurocode 5 (2003) define os critérios de dimensionamentos para as ligações parafusadas submetidas à cargas laterais e de arrancamento, especificando também a profundidade de penetração nas peças ligadas e os espaçamentos entre parafusos e entre parafusos e bordas das peças.

Os parafusos de ancoragem (Figura 19d) unem madeira-alvenaria e madeira-concreto. Os parafusos de ancoragem são frequentemente utilizados nas estruturas leves para fixar a soleira do piso ou a barra inferior dos painéis de parede na fundação.

Para a ligação da soleira à fundação, os parafusos de ancoragem normalmente são longos, com a extremidade inferior dobrada em ângulo de 90° e inserida no concreto. A extremidade superior é rosqueada e nela são inseridas uma porca e uma arruela, as quais são apertadas contra a peça fixada. Estes parafusos são instalados no momento da concretagem ficando uma espera para o posicionamento da soleira, a qual deve ser previamente furada.

Além do parafuso de ancoragem com a dobra inferior em 90° (Figura 19d), existem parafusos de ancoragem especiais que são instalados após a finalização da estrutura de alvenaria ou concreto, como os chumbadores de expansão controlada (Figura 20a) ou por percussão (Figura 20b) e chumbadores com cápsulas químicas (Figura 20c) (LEWIS e VOGT, 2000).

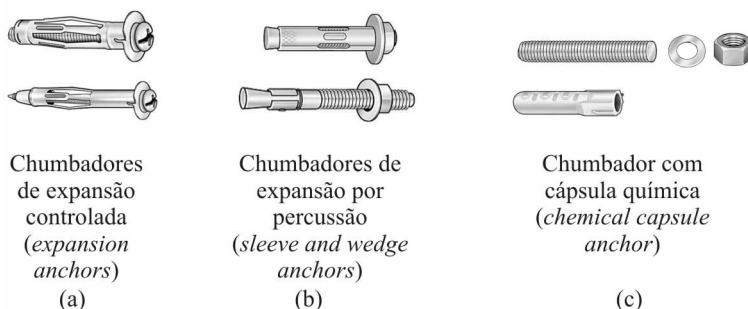


Figura 20: Tipos especiais de chumbadores

2.5.3. Chapas metálicas planas

As chapas metálicas planas são utilizadas com frequência nas construções leves em madeira. Elas são fabricadas em aço galvanizado e devem apresentar geometria adequada para transmitir os esforços atuantes na ligação, conforme os critérios de dimensionamento do Eurocode 5 (2003) e da NBR 7190 (1997). As chapas metálicas podem ser com dente estampados (Figura 21a) e pregadas (Figura 21b).

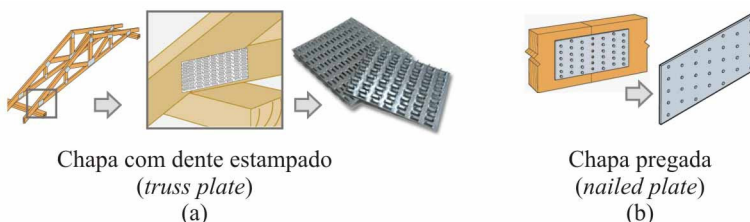


Figura 21: Tipos de chapas metálicas planas

As chapas com dente estampados, geralmente, são aplicadas nas ligações de peças de treliças pré-fabricadas. Os dentes estampados são formados ao se dobrar uma série ordenada de pequenas formas triangulares da própria chapa metálica, substituindo a aplicação de

pregos. Os esforços são transmitidos por meio dos dentes, cujo tamanho influencia diretamente a capacidade resistente das chapas (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).

As chapas pregadas contêm uma série de furos, nos quais são inseridos os pregos, geralmente, anelares ou helicoidais (STALNAKER e HARRIS, 1997). Nos sistemas leves em madeira, as chapas pregadas podem ser usadas na ligação do encontro de duas barras superiores ou entre as barras superiores e os montantes de canto, como ilustrado na Figura 22.

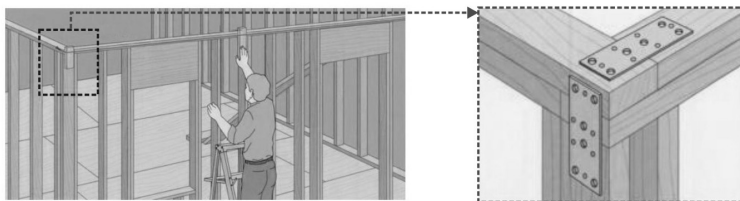


Figura 22: Aplicação de chapas pregadas entre barras superiores e entre barras superiores e montante de canto (adaptado de WAGNER, 2005)

2.5.4. Conectores especiais

Os conectores especiais são fabricados em aço galvanizado com a finalidade de conectar madeira-madeira, madeira-alvenaria e madeira-concreto. Os conectores especiais podem ser divididos em: suportes metálicos, chapas de ancoragem, chapas de amarração e cantoneiras. Suas aplicações variam conforme as peças a serem ligadas e as cargas estruturais a serem transmitidas. Existe uma grande variedade desses conectores disponíveis no comércio internacional, porém no Brasil, ainda são limitados.

Os **suportes metálicos** são formados por duas abas laterais, um apoio (Figura 23 a, b, c) e, em alguns casos, as abas se prolongam criando duas abas superiores (Figura 23d). Nos sistemas leves em madeira, o uso mais comum dos suportes metálicos é entre vigas, principalmente, quando as superfícies superiores das mesmas devem estar niveladas entre si. A fixação do suporte metálico às vigas pode ser por pregos ou por parafusos com porca e arruela, dependendo da recomendação do fabricante, o qual indica as cargas máximas admissíveis (FEIRER et al, 1993).

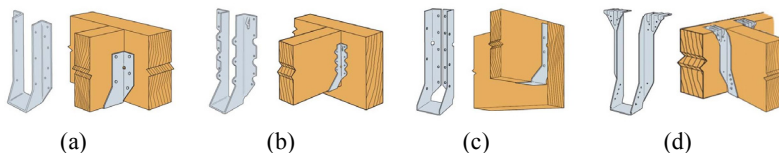


Figura 23: Tipos de suportes metálicos para ligação entre vigas de madeira (adaptado de STRONGTIE, 2008).

O suporte metálico fixado na viga principal sustenta a viga secundária, transferindo a carga para a viga principal por cisalhamento através dos pregos inseridos nas abas laterais do conector (Figura 23 a, b, c) (STALNAKER e HARRIS, 1997). Os pregos ou parafusos devem ser fixados na metade superior da face lateral da viga principal, mas não muito próximos ao topo da peça onde a tensão de flexão é máxima (BREYER et al, 2003).

Segundo Feirer et al (1993), o erro mais comum cometido na instalação dos suportes metálicos para vigas é o uso de poucos pregos. Como a conexão depende deles para resistir ao cisalhamento, uma quantidade insuficiente pode causar falha na estrutura.

Para a instalação do suporte metálico, recomenda-se primeiro posicioná-lo na viga principal e pregá-lo. Em seguida, encaixar a viga secundária no suporte e pregá-la (Figura 24) (FEIRER et al, 1993).



Figura 24: Passos da instalação do suporte metálico (adaptado de STRONGTIE, 2008).

As **chapas de ancoragem** são chapas metálicas dobradas em diferentes ângulos (Figura 25), que podem substituir os pregos fixados em ângulo nas ligações entre montantes e barra inferior, entre treliças e barra superior dupla, a fim de fornecer mais segurança contra o arrancamento das peças. Na parede, a ligação entre montante e travessa inferior executada com chapas de ancoragem permite a transferência mais eficiente das cargas à fundação (STALNAKER e HARRIS, 1997).

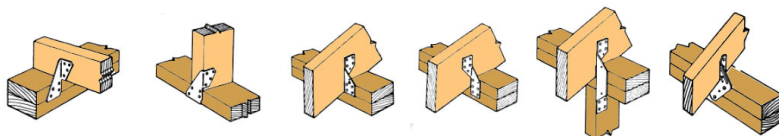


Figura 25: Tipos de chapas de ancoragem (adaptado de LEWIS e VOGT, 2000)

As **chapas de amarração** podem ser dobradas em diversos formatos, conforme sua aplicação. As chapas de amarração mais utilizadas são as fitas metálicas (Figura 26), as quais apresentam furos para inserção de pregos para fixá-las às peças de madeira (FEIRER et al, 1993).

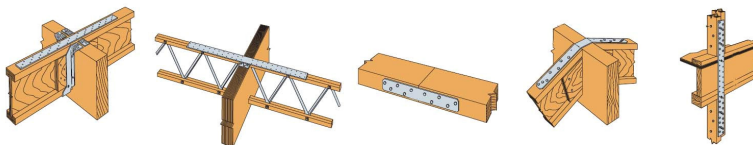


Figura 26: Exemplos de aplicação das fitas metálicas (adaptado de STRONGTIE, 2008).

Alguns fabricantes norte-americanos disponibilizam conectores de amarração específicos para situações de furacões e abalos sísmicos (Figura 27). Devido à incidência crescente de tornados na região Sul do Brasil, devem ser utilizados estes conectores, com formatos mais elaborados. Estes, geralmente, são utilizados nas ligações entre treliças e paredes (Figura 27a), montantes e barras superiores, e montantes e fundação (Figura 27b).

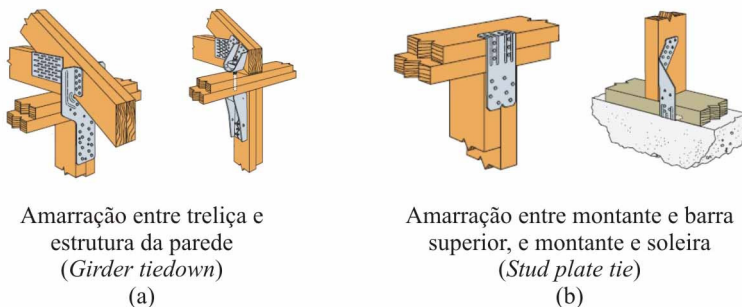


Figura 27: Tipos especiais de amarração para furacões e abalos sísmicos (adaptado de STRONGTIE, 2008).

As **cantoneiras** são chapas metálicas dobradas em ângulo de 90° em formato simples ou reforçado, as quais podem ou não ter função estrutural.

As cantoneiras simples geralmente são aplicadas nas ligações entre vigas de pequena seção (Figura 28a) e entre montantes e barra inferior (Figura 28b). As cantoneiras entre vigas são mais difíceis de serem instaladas em comparação com os suportes metálicos (Figura 24), pois, na montagem com cantoneira, devem-se segurar simultaneamente as duas vigas de madeira na posição adequada, enquanto as cantoneiras são fixadas.

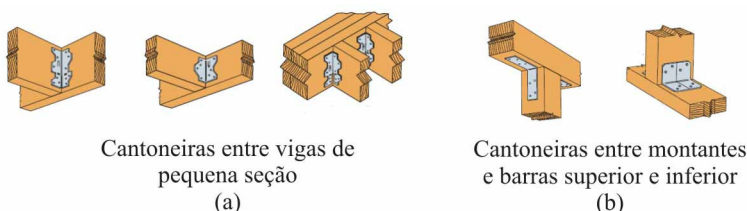


Figura 28: Exemplos de aplicação de cantoneiras simples em peças do sistema leve em madeira (adaptado de STRONGTIE, 2008).

Ocasionalmente, as cantoneiras podem apresentar dobras especiais, sendo assim mais reforçadas do que as cantoneiras simples. Estas cantoneiras reforçadas apresentam ótimo desempenho contra o arrancamento das peças. Nos sistemas leves, estas cantoneiras especiais podem ser adotadas para fixar as treliças na barra superior dupla (Figura 29).

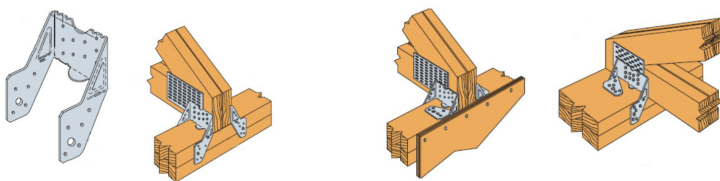


Figura 29: Exemplos de aplicação de cantoneiras reforçadas
(adaptado de STRONGTIE, 2008).

Um outro tipo de cantoneira tem apenas a função de controlar o alinhamento de peças. Por exemplo, alinhar treliças fixadas em paredes não estruturais (Figura 30). Nessas cantoneiras, os pregos não devem ser completamente embutidos na treliça, para permitir o movimento vertical da treliça.

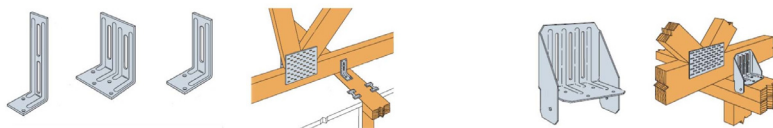


Figura 30: Exemplos de cantoneiras para alinhamento de peças
(adaptado de STRONGTIE, 2008).

Nos países norte-americanos e europeus, muitas empresas são especializadas na produção de dispositivos de ligação entre os elementos das estruturas leves. Estas empresas disponibilizam ao consumidor catálogos e guias com informações técnicas desses produtos, os quais são ofertados em diversos tipos e tamanhos. Esses guias são fundamentais para auxiliar na escolha dos métodos de união das peças, pois o grau de facilidade da montagem está diretamente relacionado a essa escolha, afetando o custo da construção.

Percebe-se que, pela simplicidade dos dispositivos de ligação, estes podem ser fabricados pelas indústrias brasileiras, adotando um maior grau de industrialização dos componentes da construção em madeira e resultando em ligações mecânicas mais eficientes. Incorporar estes dispositivos de ligação ao mercado nacional pode significar um avanço tecnológico que se manifesta pela melhoria do desempenho mecânico das ligações do sistema Plataforma e na redução do tempo de montagem.

3. CONDICIONANTES DE PROJETO PARA A CONCEPÇÃO DA HIS

O projeto não deve ser encarado como finalidade, mas sim como meio de se atingir um bom resultado na execução do edifício (FRANCO, 1996). Segundo Melhado (1994), o projeto deve englobar, além do produto, o seu processo de produção, e deve assumir o encargo fundamental de agregar eficiência e qualidade ao produto. Kowaltowski et al (2006) acrescenta que a resposta e a solução encontradas para uma edificação dependem de um conjunto de diferentes condicionantes que variam conforme cada situação específica visando atender ao programa de necessidades do cliente.

Para o desenvolvimento da proposta da HIS, este trabalho considerou as condicionantes de projeto que envolvem: a população alvo, a coordenação modular, o desempenho estrutural do Sistema Plataforma em madeira, o conforto ergonômico, a salubridade e a durabilidade da construção.

3.1. POPULAÇÃO ALVO

Para o projeto da HIS, a população alvo selecionada foi constituída por famílias com até 3 salários mínimos de renda, composta por 4 pessoas, considerando estimativas da Fundação João Pinheiro (2009). Foi constatado que, no ano de 2007, 89,4% do déficit habitacional brasileiro correspondia às famílias com esta renda. A mesma fonte também afirma que 3 salários mínimos de renda familiar é geralmente o limite superior de renda para o ingresso das famílias em programas habitacionais de caráter assistencial.

3.2. COORDENAÇÃO MODULAR

O projeto da HIS foi desenvolvido sobre um reticulado espacial de referência estabelecido por medidas modulares. Esse reticulado impõe como conceito principal o módulo, a unidade básica de medida, que permite a repetição com compatibilização das formas escolhidas. O módulo básico utilizado equivale a 10 cm, seguindo a especificação da ISO 1006 (1983) e da NBR 5731 (1982).

A proposta da HIS adota a estrutura do Sistema Plataforma com componentes de construção coordenados modularmente. O Sistema Plataforma em madeira já é um exemplo de sistema construtivo

concebido com base nos princípios de coordenação modular. No entanto, atualmente, o módulo básico utilizado nos Estados Unidos para este sistema equivale a 4 polegadas. Contudo, o presente trabalho propôs componentes do Sistema Plataforma com medidas modulares decimétricas adequadas às especificações técnicas da ISO 1006 (1983) e da NBR 5731 (1982). Os painéis verticais coordenados do Sistema Plataforma em madeira são exemplos de componentes modulares propostos neste trabalho.

3.3. MADEIRA DE FLORESTA PLANTADA

O Sistema Plataforma pode ser adequado às condicionantes brasileiras e empregar madeiras oriundas de florestas plantadas, promovendo o desenvolvimento dos setores da construção civil e florestal do país. Por isso, este trabalho propôs a utilização de madeira de floresta plantada disponível em cada região, promovendo um desenvolvimento regional no setor, como as coníferas que apresentam classe de resistência C 25 e C 30, conforme a classificação da NBR 7190 (1997).

3.4. DURABILIDADE

Segundo a NBR 15575-1 (2008), o edifício e seus sistemas devem apresentar durabilidade compatível com a Vida Útil de Projeto (VUP), ou seja, deve-se manter a capacidade funcional do edifício e de seus sistemas durante a VUP, realizando intervenções de manutenção preestabelecidas.

No projeto da edificação, a VUP deve ser estipulada para cada um dos sistemas constituintes, incluindo as condições de exposição do edifício e as especificações relativas à manutenção, uso e operação do edifício e seus sistemas. Nesse trabalho, foram considerados a os períodos de VUP mínimos especificados pela NBR 15575-1 (2008), conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Vida Útil de Projeto (VUP) mínima segundo NBR 15575-1 (2008)

Sistema	VUP mínima (anos)
Estrutura	≥ 40
Pisos internos	≥ 13
Vedação vertical externa	≥ 40
Vedação vertical interna	≥ 20
Cobertura	≥ 20
Hidrossanitário	≥ 20

Para se manter a durabilidade da edificação em madeira, é necessário conservar as características da madeira ao longo da vida útil da edificação. A durabilidade deste material está associada principalmente com suas propriedades naturais de resistência e com as condições do ambiente na qual está inserida. Com a ação de agentes deterioradores, como os agentes xilófagos e o intemperismo, a madeira passa por um processo de perda das suas características iniciais, podendo ocorrer alteração da sua coloração, perda da resistência, presença de rachaduras, empenamento de peças e decomposição do material.

Para minimizar os efeitos das ações dos agentes deterioradores da madeira e manter a durabilidade desse material aplicado na habitação, o projeto adotou sugestões de detalhes construtivos, os quais consideram os seguintes parâmetros na prevenção da degradação da madeira (CANADIAN WOOD COUNCIL, 2000):

- proteção contra chuvas e raios solares;
- rápido escoamento da água, para que esta não permaneça em contato com a madeira por um período prolongado;
- facilitar a secagem de peças úmidas de madeira por meio de correntes de ar ou ventilação cruzada;
- evitar contato direto da madeira com o solo ou com materiais construtivos que transmitam umidade;
- criar colchões de ar como elementos separadores.

Os detalhes construtivos das construções em madeira visam evitar os pontos de acúmulo de água, mantendo uma boa ventilação das peças, ou seja, os detalhes, além de evitar o contato da madeira com a água, devem, principalmente, promover meios para a saída da água em contato com as peças (INO, 1992).

Além de adotar detalhes construtivos preventivos no projeto da HIS, este trabalho propõe a utilização do tratamento da madeira com o produto químico Arseniato de Cobre Cromatado (CCA), o qual é impregnado na madeira em um processo sob pressão. Este tratamento é necessário para espécies como o pinus e o eucalipto, pois estas madeiras oriundas de florestas plantadas no Brasil, geralmente, apresentam durabilidade natural com menor resistência ao ataque dos insetos xilófagos e à ação da umidade (SÁNCHEZ, 1995).

3.5. DESEMPENHO ESTRUTURAL DO SISTEMA PLATAFORMA

Os componentes e os subsistemas da HIS proposta atendem os critérios estruturais do Sistema Plataforma em madeira. Geralmente, as edificações construídas com este sistema com até três pavimentos apresentam uma coordenação dimensional espaçando os montantes entre si em 30 cm, 40 cm ou 60 cm, conforme a carga imposta sobre os mesmos. O IRC (2009) estabelece a relação entre a dimensão da seção dos montantes e do seu espaçamento com as cargas solicitantes sobre os mesmos, conforme a Tabela 2.

Como o Sistema Plataforma é um sistema coordenado dimensionalmente, geralmente, os outros componentes da edificação, que compõem a cobertura e o piso, seguem os mesmos espaçamentos utilizados entre os montantes dos painéis da parede. As treliças da cobertura são posicionadas sobre os montantes, os quais estão sobre as vigas de piso. Esta relação entre os posicionamentos dos componentes dos diferentes subsistemas promove a transmissão adequada das cargas desde a cobertura até a fundação da edificação.

As chapas estruturais de OSB são fixadas na estrutura dos subsistemas de cobertura, parede e piso provendo estabilidade e rigidez a cada conjunto estrutural. A espessura das chapas OSB a ser aplicada depende do espaçamento máximo entre os componentes de cada subsistema. O Structural Board Association (SBA, 2004) define as espessuras mínimas mais comuns empregadas em cada subsistema da edificação, conforme as Tabelas 3, 4 e 5. No entanto, o SBA (2004) salienta que é necessário consultar as informações técnicas do fornecedor da chapa referentes à resistência adequada para as diferentes situações da edificação.

Tabela 2: Espaçamentos e dimensões dos montantes das paredes externas conforme o IRC (2009)

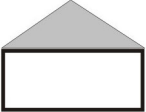
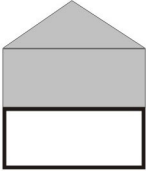
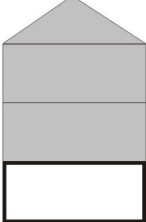
Carga		Espaçamento entre montantes	Dimensões mínimas do montante	Altura máxima do montante
	Suporta apenas cobertura	60 cm (24")	4 cm × 9 cm (2" × 4")	300 cm (10')
	Suporta um pavimento e cobertura	40 cm (16")	4 cm × 9 cm (2" × 4")	300 cm (10')
		60 cm (24")	7 cm × 9 cm (3" × 4")	300 cm (10')
			4 cm × 12 cm (2" × 5")	300 cm (10')
			4 cm × 14 cm (2" × 6")	300 cm (10')
	Suporta dois pavimentos e cobertura	40 cm (16")	7 cm × 9 cm (3" × 4")	300 cm (10')
			4 cm × 14 cm (2" × 6")	300 cm (10')

Tabela 3: Espessuras mínimas das chapas OSB para plataforma de piso (SBA, 2004)

Espaçamento máximo entre vigas	Espessuras mínimas da chapa OSB
40 cm	15,5 mm
50 cm	15,5 mm
60 cm	18,5 mm

Tabela 4: Espessuras mínimas das chapas OSB para painéis de parede (SBA, 2004)

Detalhes de revestimento externo	Espaçamento máximo entre montantes	Espessuras mínimas da chapa OSB
Siding fixado na estrutura da parede	40 cm	6,0 mm
	60 cm	7,5 mm
Siding fixado no OSB	60 cm	7,5 mm
Revestimento de cimento fixado no OSB	60 cm	9,5 mm
Revestimento de madeira vertical ou de cerâmica fixado no OSB	60 cm	12,5 mm

Tabela 5: Espessuras mínimas das chapas OSB para cobertura (SBA, 2004)

Espaçamento máximo entre treliças	Espessuras mínimas da chapa OSB com suportes nas bordas	Espessuras mínimas da chapa OSB sem suportes nas bordas
30 cm	7,5 mm	7,5 mm
40 cm	7,5 mm	9,5 mm
60 cm	9,5 mm	12,5 mm

Para a HIS, adotou-se o espaçamento máximo entre montantes de 40 cm, que permite ampliar a habitação adicionando outro pavimento. Assim, as treliças da cobertura e as vigas do piso seguem este mesmo espaçamento máximo de 40 cm. As chapas de OSB adotadas para o piso da habitação têm 15,5 mm de espessura (Tabela 3), para os painéis de parede têm 12,5 mm de espessura (Tabela 4) e para a cobertura têm 12,5 mm de espessura (Tabela 5).

Além dos critérios de coordenação dimensional definidos pelo IRC (2009), este trabalho avaliou a estabilidade estrutural da HIS conforme os requisitos da NBR 7190 (1997) para o subsistema cobertura e do Eurocode 5 (2003) para o subsistema parede. Cabe salientar que os cálculos de desempenho estrutural foram realizados para a habitação proposta neste trabalho, supostamente localizada na região de Santa Catarina. Caso a proposta seja implementada e construída, a análise do desempenho estrutural deve ser recalculada para a região onde será inserida.

3.6. CONFORTO ERGONÔMICO

O projeto arquitetônico deve ser direcionado a uma população mais extensa e heterogênea, garantindo um aproveitamento positivo pelos seus usuários. As alturas das superfícies dos mobiliários, a relação entre as larguras entre os equipamentos e a circulação devem ser adequadas proporcionando o conforto ergonômico dos moradores (PANERO; ZELNIK, 2002).

A metrologia do tamanho corporal e suas implicações ergonômicas influenciam o desenho dos espaços arquitetônicos. Segundo Panero e Zelnik (2002), as dimensões do corpo humano podem ser classificadas em dois tipos: estruturais e funcionais. As dimensões estruturais referem-se às medidas da cabeça, do tronco e das extremidades em posição padrão, como demonstradas na Figura 31. As dimensões funcionais, chamadas às vezes de dinâmicas, incluem as medidas

tomadas em posições de trabalho ou durante o movimento associado a certas atividades, como na Figura 32. O conforto ergonômico deve considerar o tamanho físico do corpo humano somado aos fatores humanos de movimento que interferem na determinação dimensional dos espaços.

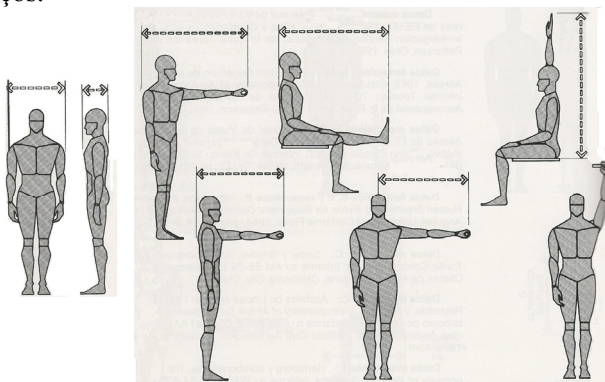


Figura 31: Dimensões estruturais do corpo humano (PANERO, ZELNIK, 2002)

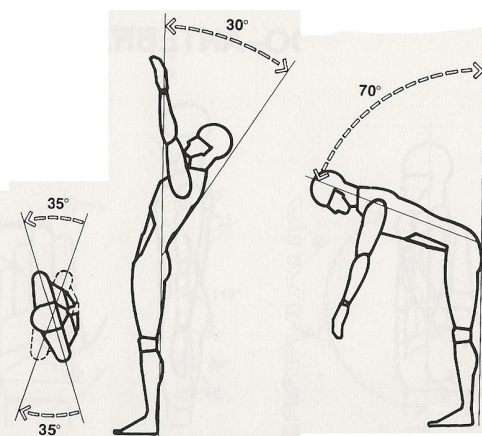


Figura 32: Dimensões funcionais do corpo humano (PANERO, ZELNIK, 2002)

Tendo em vista o conforto ergonômico, o desenho arquitetônico da HIS seguiu os requisitos de funcionalidade e acessibilidade da NBR 15575-1 (2008), a qual estabelece dimensões mínimas associadas à organização funcional dos espaços com intuito de proporcionar espaços adequados e compatíveis às necessidades humanas, conforme a Tabela 6.

Dimensões específicas para outras situações dos moradores podem ser necessárias na HIS, como por exemplo, dimensões para grupos específicos como crianças, idosos, cadeirantes e obesos. A proposta da HIS permite a alteração da composição espacial, a fim de atender estas necessidades ergonômicas especiais. A flexibilidade da composição espacial é apresentada nos resultados deste trabalho com possíveis exemplos de alteração dos espaços arquitetônicos, ampliando as áreas de circulação para cadeirantes conforme especificado pela NBR 9050 (2004).

Tabela 6: Dimensões mínimas de mobiliário e circulação (NBR 15575-1, 2008)

Tabela de Dimensões mínimas de mobiliário e circulação (ABR 1991-1, 2000)				
Ambiente	Móvel ou equipamento	Dimensões (m)		Circulação (m)
		largura	profundidade	
Sala de estar	Sofá de 3 lugares com braço	1,70	0,70	0,50
	Estante para TV	0,80	0,50	
Sala de jantar	Mesa retangular para 4 lugares	1,20	0,80	0,75 a partir da borda da mesa
Cozinha	Pia	1,20	0,50	0,85
	Fogão	0,55	0,60	
	Geladeira	0,70	0,70	
Dormitório casal (principal)	Cama de casal	1,40	1,90	0,50
	Criado-mudo	0,50	0,50	
	Guarda-roupa	1,60	0,50	
Dormitório para 2 pessoas (2º dormitório)	Cama de solteiro	0,80	0,90	0,60 entre camas
	Criado-mudo	0,50	0,50	0,50
	Guarda-roupa	1,50	0,50	0,50
Banheiro	Lavatório	0,39	0,29	0,40
	Vaso sanitário	0,60	0,70	
	Box retangular	0,70	0,90	
Área de serviço	Tanque (externo para habitações térreas)	0,52	0,53	0,50
	Máquina lavar roupa	0,60	0,65	
Observação: O pé-direito mínimo para banheiros deve ser de 2,20 m e para os demais ambientes da unidade habitacional deve ser no mínimo de 2,50 m, observada a legislação vigente.				

3.7. ILUMINAÇÃO E VENTILAÇÃO NATURAL

Segundo a NBR 15575-1 (2008), devem-se proporcionar condições de iluminação natural específicos em todos os cômodos da edificação durante o dia. Para isso, o projeto da edificação deve considerar os seguintes itens: a disposição dos cômodos, a orientação geográfica da edificação, o dimensionamento e o posicionamento das aberturas, o tipo de janela e o envidraçamento, a rugosidade e a cor de paredes, tetos e pisos, os poços de ventilação e iluminação, o domus de iluminação e a influência de interferências externas.

A ventilação natural influencia o desempenho térmico da habitação, o qual deve considerar a região da implantação da edificação e suas respectivas características bioclimáticas. A ventilação natural também auxilia nas exigências relativas à saúde, à higiene e à qualidade do ar, proporcionando condições de salubridade no interior da edificação (NBR 15575-1, 2008).

Com referência às condicionantes de iluminação e ventilação natural, o projeto da HIS considerou principalmente a relação entre as áreas dos cômodos e o dimensionamento das aberturas, em cumprimento aos dados do IRC (2009) descritos na Tabela 7. As exigências técnicas dos códigos de obras de cada município devem ser avaliadas conforme a região em que a HIS será implantada. Por exemplo, as áreas mínimas de iluminação e ventilação natural do Código de Obras de Florianópolis (PMF, 2000) também considerados neste projeto estão descritos na Tabela 8.

Tabela 7: Áreas mínimas de iluminação e ventilação natural conforme o IRC (2009)

Área mínima de iluminação natural	Área mínima de ventilação natural
8% da área do cômodo	4% da área do cômodo

Tabela 8: Áreas mínimas de iluminação e ventilação natural conforme o Código de Obras de Florianópolis (PMF, 2000)

Cômodos	Área mínima de iluminação natural	Área mínima de ventilação natural
Grupo A: estar, repouso e estudos	1/6 da área do cômodo	1/12 da área do cômodo
Grupo C: cozinha, copa, despensa, lavanderia	1/8 da área do cômodo	1/16 da área do cômodo
Grupo D: instalações sanitárias, áreas de circulação	1/10 da área do cômodo	1/20 da área do cômodo

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, apresenta-se primeiramente a proposta dos três painéis verticais coordenados fechado, porta e janela que variam sua largura modular em 60 cm, 120 cm e 240 cm. A partir da solução adotada para estes painéis de parede, elaborou-se uma proposta base para a HIS, sobre a qual demonstra-se, com 4 estudos, a possibilidade de flexibilidade na sua composição espacial. Em seguida, são detalhados os subsistemas fundação, piso, parede, cobertura, elétrico e hidrossanitário e os dispositivos de ligação da HIS base proposta. Por fim, apresenta-se um levantamento preliminar dos custos dos componentes da HIS.

4.1. PROPOSTA DE PAINÉIS VERTICAIS COORDENADOS

Atualmente, os componentes do Sistema Plataforma em madeira estão diretamente associados às dimensões comerciais disponíveis das chapas de OSB, que, geralmente, são de 122 cm × 244 cm. A máxima utilização das chapas de OSB implicaria na adoção de um módulo na dimensão exata da chapas comercializadas. Todavia, por seguirem o módulo 122 cm × 244 cm, esses componentes poderiam ser combinados apenas com aqueles dessa mesma proporção, e não com outros componentes de construção que seguem as normas da coordenação modular decimétrica. Do ponto-de-vista industrial e comercial, é importante aumentar as possibilidades de uso do produto, a fim de garantir uma maior demanda do mercado consumidor. Por isso, este trabalho propõe painéis verticais elaborados com base nos princípios da coordenação modular decimétrica.

Os projetos de painéis verticais em madeira foram baseados nas seguintes premissas: existência de mão-de-obra treinada; pré-fabricação dos painéis em indústrias especializadas, possuidoras de equipamentos com bom nível de automação, afiados e ajustados adequadamente; utilização de madeira tratada oriunda de florestas plantadas, com classe de resistência C 25 e C 30 e com teor de umidade de equilíbrio de 12%.

No projeto dos painéis coordenados, foram considerados: as técnicas da coordenação modular, os critérios estruturais, as dimensões dos elementos constituintes, as dimensões dos vãos modulares incluindo as folgas e tolerâncias dimensionais para montagem em obra, o tamanho do painel visando a montagem com um pequeno número de pessoas

envolvidas, e a possibilidade de utilização dos painéis em sistemas construtivos mistos.

Os critérios de estabilidade e resistência do Sistema Plataforma determinaram, para os painéis coordenados, a adoção de montantes de 4 cm × 9 cm espaçados, no máximo, em 40 cm, barras inferior e superior de 4 cm × 9 cm cada, fechamento externo por chapas OSB de 12,5 mm de espessura e fechamento interno por chapas de gesso acartonado. Porém, o painel que recebe o sistema hidráulico apresenta montantes e travessas com seção de 4 cm × 15 cm, conforme é detalhado no item Sistema hidrossanitário, na seção 4.2 deste trabalho.

O tamanho dos painéis pode variar conforme a necessidade do cliente e do projeto arquitetônico, ou devido às possibilidades e às limitações dos maquinários em fábrica. Neste trabalho, para o projeto dos painéis, adotou-se o módulo 12 M por ser múltiplo de 2M ou 3M, conforme sugestão da norma NBR 5709 (1982) como multimódulo preferível. Com isso, foram projetados painéis para três larguras modulares diferentes: meio-painel, painel-padrão e painel-duplo, os quais se destinam aos respectivos vãos modulares: 60 cm × 280 cm (Figura 33), 120 cm × 280 cm (Figura 34) e 240 cm × 280 cm (Figura 35).

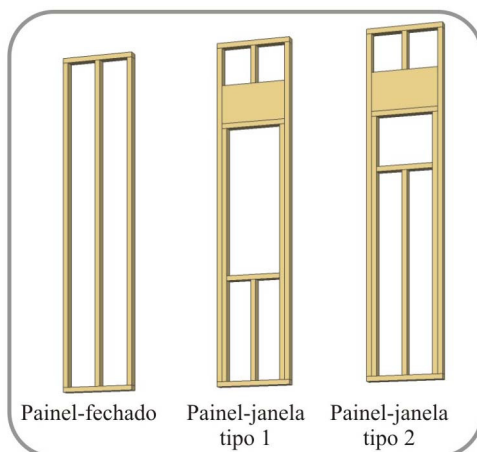


Figura 33: Painéis propostos para os vãos modulares de 60 cm × 280 cm

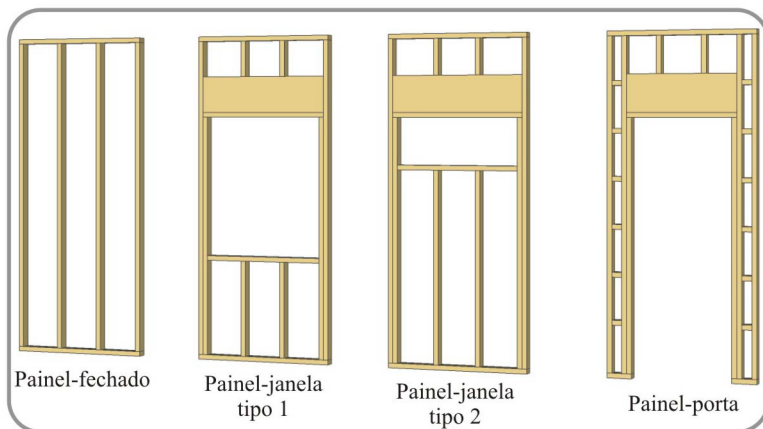


Figura 34: Painéis propostos para os vãos modulares de 120 cm x 280 cm

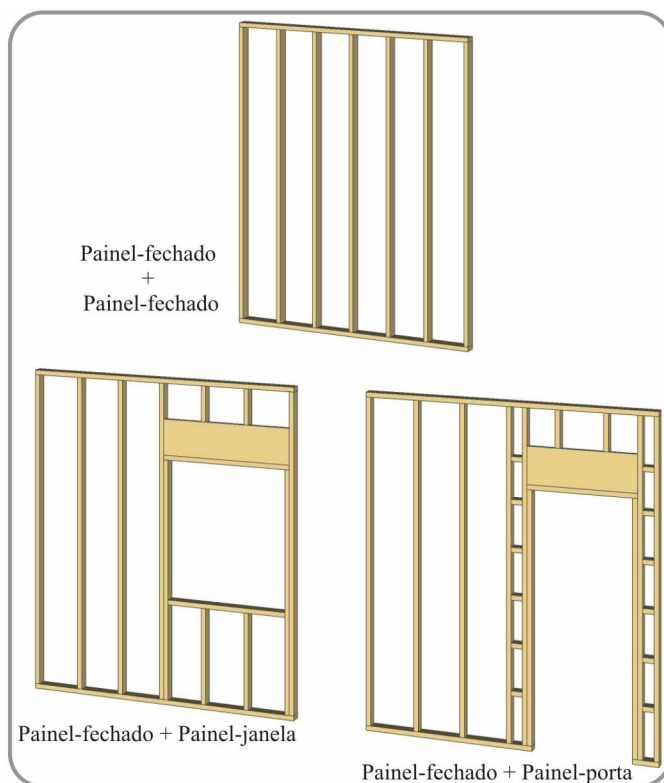


Figura 35: Painéis propostos para os vãos modulares de 240 cm x 280 cm

Os painéis com larguras de 120 cm e 240 cm apresentam maior resistência estrutural em comparação ao painel com largura de 60 cm, pois quanto maior a largura do painel, mais estabilidade e rigidez este proporciona à edificação. O meio-painel apresenta uma largura menor que 1/4 de sua altura e, segundo o Eurocode 5 (2003), para o painel ter função estrutural, a largura deve ser no mínimo 1/4 da altura deste painel. Então, os meio-painéis utilizados devem ser desconsiderados no cálculo da resistência das paredes às cargas horizontais. Porém, mesmo sem função estrutural, este painel é indispensável para auxiliar na composição e no dimensionamento dos espaços arquitetônicos, evitando a perda de áreas desnecessárias nos projetos das edificações.

A princípio, a altura modular dos painéis foi definida para otimizar o aproveitamento das chapas de OSB em um vão vertical modular de 240 cm, tendo em vista que as chapas geralmente são comercializadas com a dimensão 122 cm × 244 cm. Porém, alterou-se a altura do vão modular para 280 cm para atender o requisito dos códigos de obras das cidades brasileiras referentes ao pé-direito da edificação. Segundo a empresa LP (2009), nos Estados Unidos, além da chapa OSB com dimensões 122 cm × 244 cm, esta chapa também é comercializada com as dimensões 122 cm × 274 cm e 122 cm × 305 cm, ou em outras dimensões especificadas pelo cliente se a demanda for razoável. As chapas com comprimentos maiores ainda não são comercializadas pela empresa LP no Brasil, porém, caso seja efetuado um grande pedido do produto, este, provavelmente, pode ser fornecido nas dimensões requeridas pelo projeto dos painéis, desde que respeitem os limites dos maquinários da empresa.

As medidas modulares dos painéis incluem as dimensões dos ajustes e tolerâncias necessários entre os elementos de madeira, a fim de prevenir possíveis casualidades decorrentes de erros de fabricação, de deformações no material e de posicionamento devido à habilidade de execução da mão-de-obra. A MASISA (2006) sugere a utilização de uma junta de aproximadamente 3 mm entre chapas OSB. Por isso, para seguir a quadrícula modular de referência, a dimensão real do painel não apresenta valores inteiros múltiplos de 10 cm, pois o vão modular onde este painel é encaixado deve incluir as dimensões dos ajustes e folgas. Por exemplo, para satisfazer o vão modular de 120 cm × 280 cm, cada painel deve incluir no seu perímetro 1,5 mm referente ao seu ajuste modular, ou seja, um ajuste total entre painéis de 3 mm (Figura 36). Assim sendo, para este trabalho, a largura de projeto adotada para os painéis padrão foi de 119,7 cm ± 0,3 cm.

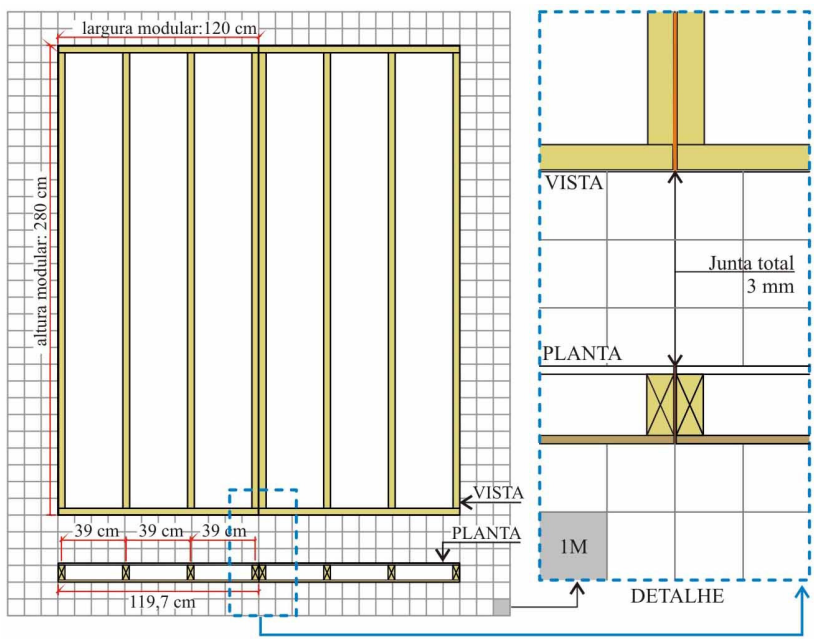


Figura 36: Detalhe da junta total de 3 mm entre painéis

Os painéis projetados foram elaborados a partir de três tipos de painéis básicos: painel-fechado, painel-porta e painel-janela (Figura 37).

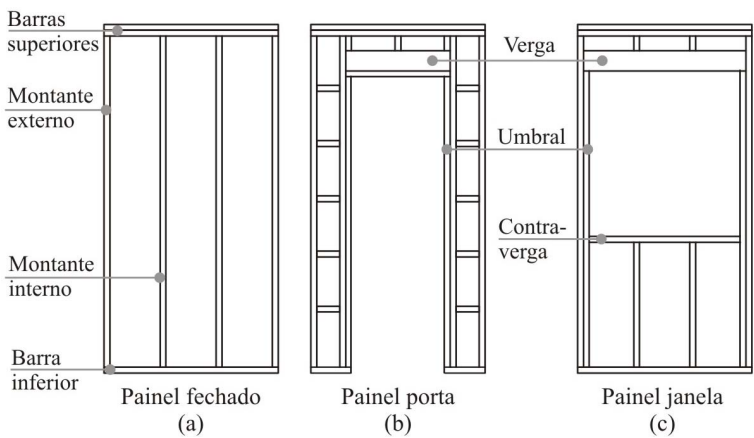


Figura 37: Tipos de painéis básicos e seus componentes

4.1.1. Painel-fechado

O painel-fechado é o menos complexo dos três painéis básicos, logo o mais simples de confeccionar. Possui menor quantidade e variedade de elementos na sua composição. A ossatura desse painel é formada por dois montantes externos, dois montantes internos, uma travessa inferior e outra superior. Essas peças de madeira são conectadas entre si, normalmente, por pregos cravados de topo ou em ângulo. Para completar o painel estrutural, a chapa de OSB, que enrijece a ossatura, deve ser pregada em todos montantes e travessas.

O painel-fechado pode ser meio painel, painel padrão ou painel duplo. A composição destes painéis a partir das dimensões das peças e do espaçamento entre as mesmas pode ser observada na Figura 38. O peso estimado dos painéis, supondo serem produzidos em *Pinus elliottii* (ZENID, 2009) e em chapas de OSB com espessura de 12 mm (CANADIAN WOOD COUNCIL, 2008), foi de aproximadamente 29 kg, 49 kg e 93 kg, respectivamente.

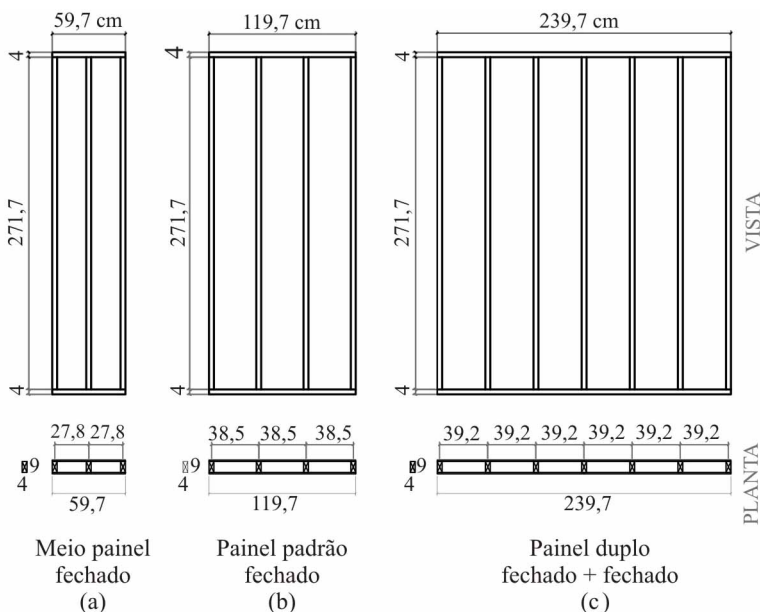


Figura 38: Composição dos painéis fechados com dimensões em cm

Para respeitar os requisitos confortáveis de ergonomia, o Ministério do Trabalho e Emprego (1990) descreve na NR-17 que o transporte manual de componentes deve ser executado de forma que o esforço físico realizado pelo trabalhador seja compatível com a sua capacidade de força. Complementando, o National Institute for Occupational Safety and Health (ALBERS, ESTILL, 2007) recomenda que cada trabalhador levante ou carregue no máximo aproximadamente 23 kg, porém reconhece que este valor varia com a capacidade de esforço físico da pessoa. Dessa forma, estima-se que o meio painel e o painel padrão podem ser manuseados por 2 pessoas cada um, enquanto o painel duplo, por 4 pessoas.

4.1.2. Painel-porta

Assim como no painel-fechado, o painel-porta é composto por peças de madeira com seção 4 cm × 9 cm. No entanto, a ossatura do painel-porta é diferenciada da ossatura do painel fechado, a fim de comportar o vão da porta. Por isso, além dos montantes externos e das travessas superior e inferior, existem os elementos especiais na composição deste painel: vergas, contra-vergas, umbrais e travessas intermediárias (Figura 39).

No painel-porta, cada umbral apresenta altura limitada pela altura da porta e é fixado lateralmente a um montante interno. A verga está apoiada sobre os umbrais, funcionando como viga biapoiada. Entre os montantes interno e externo de cada lateral do painel são colocadas pequenas peças de madeira, como travessas intermediárias que dão mais estabilidade ao painel, o qual é frágil devido ao vão da porta (Figura 39).

No painel-porta, deve-se ter cuidado com as dimensões do vão modular interno para que a esquadria possa ser encaixada e posicionada de forma adequada no painel. A dimensão do vão modular interno deve incluir as dimensões da folha, do marco e da junta. Não é necessária a colocação de um contra marco, pois os umbrais e a verga já cumprem esse papel.

Conforme as condições da coordenação modular decimétrica, o vão modular da porta também deve ser múltiplo de 10 cm, permitindo, assim, a colocação de portas de qualquer material e fabricante que respeitem essa modularidade. No entanto, atualmente, conforme pesquisa de mercado realizada por Navarine et al (2009), os fabricantes brasileiros produzem as folhas das portas com dimensões modulares,

de 120 cm × 240 cm é estimado em 46 kg podendo ser manuseado por 2 pessoas e o peso do painel duplo fechado e porta é estimado em 90 kg, sendo manuseado por 4 pessoas.

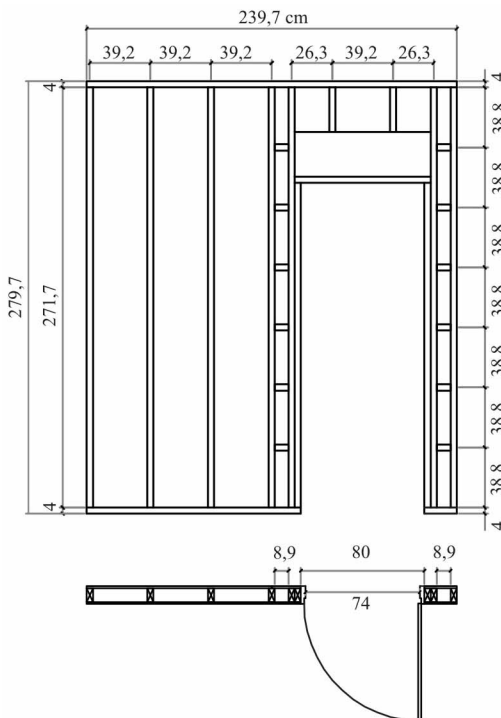


Figura 40: Composição do painel duplo fechado e porta com dimensões em cm

4.1.3. Painel-janela

A estrutura do painel-janela é semelhante à estrutura do painel-porta. Os umbrais são montantes especiais com altura limitada pela altura da janela. A verga está apoiada sobre os umbrais, funcionando como uma viga biapoiada. E a contra-verga está pregada nos umbrais e apoiada sobre dois montantes mais curtos, os quais se limitam à altura do peitoril da janela (Figura 41). Esta composição do painel-janela proposto neste trabalho se apóia nos resultados dos ensaios de carga vertical realizados por Szücs et al (2007) em painéis-janela com estrutura semelhante. Segundo o mesmo autor, a solução adotada da verga apoiada sobre os dois umbrais oferece mais resistência ao painel

no suporte das cargas advindas dos pavimentos superiores e da cobertura.

No entanto, diferentemente do painel-porta que utilizava travessas intermediárias entre os montantes externos e internos, no painel-janela, cada umbral está fixado diretamente no montante externo, pois a proposta é aproveitar o máximo da largura do painel para a abertura da janela. No painel-porta, a possibilidade de alteração do comprimento das travessas intermediárias facilitava a adoção de um vão modular interno desejado para a porta. Todavia, no painel-janela, não há um elemento interno que tenha essa possibilidade de alteração de dimensão na largura que facilite a adoção de um vão modular para janela. Por isso, é necessária a aplicação de elementos complementares que auxiliarão no comprimento dos princípios de modularidade para o vão para as janelas.

O vão da janela deve ser múltiplo de 10 cm e deve compreender as dimensões da junta, do marco e do caixilho. Para se obter o valor possível para o vão da janela no painel, foi reduzido da sua largura modular de 120 cm, as dimensões da junta total externa do painel de 3 mm, dos dois montantes externos e dos dois umbrais com $4\text{ cm} \times 9\text{ cm}$. Dessa redução, obteve-se um restante de 103,7 cm para a abertura da janela. No entanto, essa dimensão não é múltipla de 10 cm e apresenta um valor muito elevado para uma junta entre a janela e os elementos de madeira internos do painel. Além disso, esta junta seria externa ao vão modular da janela, o que não é muito indicado, pois, geralmente, para os componentes modulares, se recomenda que o valor da junta perimetral do componente esteja incluído dentro do seu espaço modular (ROSSO, 1976). Então, propôs-se a adição de dois elementos complementares com a seção de $1,8\text{ cm} \times 9\text{ cm}$ cada, os quais são fixados um em cada umbral. Assim, a dimensão do vão modular da janela neste painel é de 100 cm (Figura 41-a).

No painel duplo fechado e janela (Figura 41-b), para o dimensionamento do vão modular da janela de 100 cm, também foram adicionados dois elementos complementares. Estes elementos apresentam a seção de $2,9\text{ cm} \times 9\text{ cm}$ cada e estão fixados nos umbrais adjacentes.

Estimou-se o peso de 44 kg para o painel-janela com largura modular 120 cm manuseado por 2 pessoas e o peso de 82 kg para o painel duplo fechado e janela manuseado por 4 pessoas.

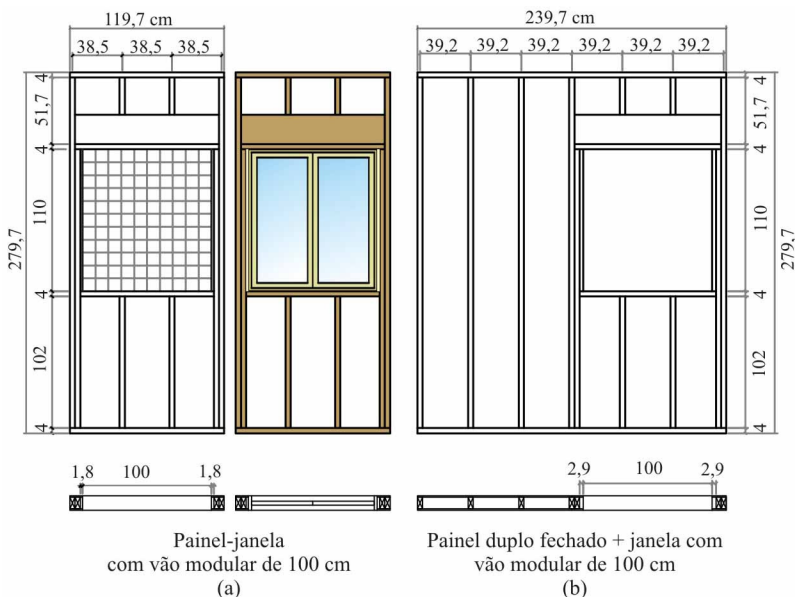


Figura 41: Composição do painel-janela padrão e do painel duplo fechado e janela

4.2. PROPOSTA DA HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL

A Habitação de Interesse Social (HIS) proposta neste trabalho é destinada para uma família de 4 pessoas com renda familiar de até 3 salários mínimos.

Para o desenvolvimento do projeto da HIS, adotou-se o sistema construtivo plataforma, com componentes industrializados e pré-fabricados, utilizando espécies de madeira oriundas de florestas plantadas disponíveis regionalmente. Além de industrializados, estes componentes devem estar adequados à coordenação modular decimétrica para facilitar sua permuta com outros componentes modulares em sistemas abertos. Por isso, neste trabalho, primeiramente foram propostos os painéis verticais coordenados modularmente, para com base nestes painéis, avançar para as próximas etapas da proposta da HIS.

Após propor painéis verticais coordenados modularmente, a elaboração do projeto seguiu as seguintes etapas:

- definição da composição espacial adequada para o conforto ergonômico mínimo;

- elaboração de exemplos demonstrando a flexibilidade na composição espacial da HIS proposta;
- detalhamento dos subsistemas fundação, piso, parede, cobertura e instalações hidrossanitária e elétrica;
- especificação dos dispositivos para as ligações mecânicas dos principais componentes.

4.2.1. Composição espacial arquitetônica

A HIS proposta para uma família de 4 pessoas é composta por dois quartos, um banheiro e sala e cozinha conjugadas, totalizando aproximadamente 46,50 m² (Figura 42, Apêndice 1).

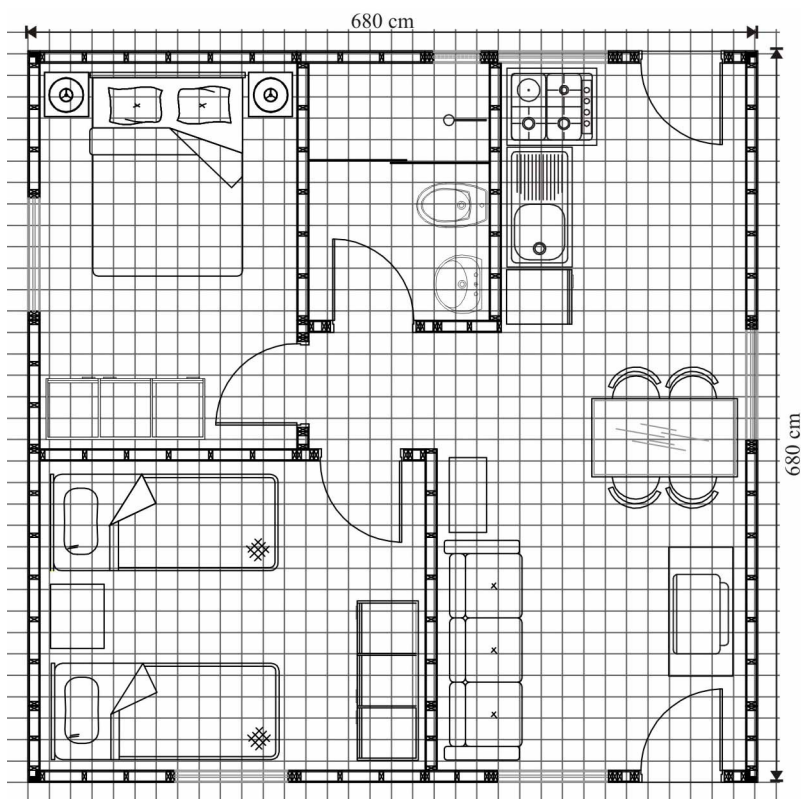


Figura 42: HIS proposta com 46,50 m² sobre quadricula modular 2M

O principal critério para a composição espacial arquitetônica da HIS foi a utilização dos painéis propostos com largura modular de 60 cm, 120 cm e 240 cm. Os painéis duplos com largura de 240 cm foram priorizados no projeto da habitação, pois apresentam maior resistência estrutural em relação ao painel padrão e meio painel, e também permitem uma redução no tempo de montagem da habitação. A distribuição dos painéis na habitação pode ser notada na Figura 43 (Apêndices 02, 03, 04 e 05).

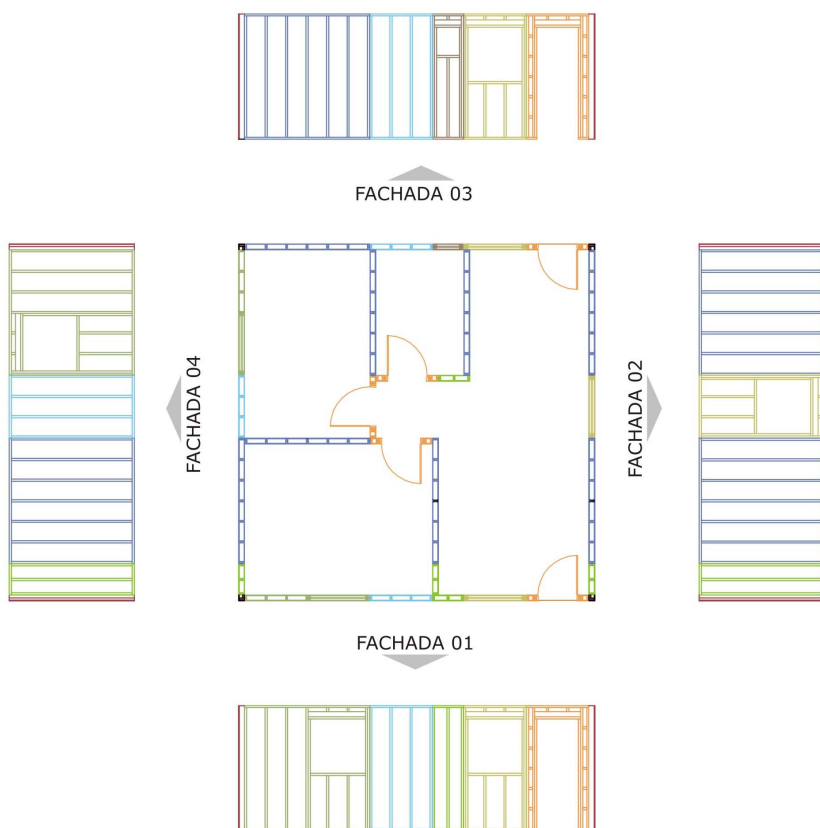


Figura 43: Distribuição dos painéis na composição espacial da HIS

Além da condicionante dos painéis coordenados, outro princípio geral que norteou o estudo da distribuição espacial arquitetônica foi o conforto ergonômico mínimo.

As dimensões mínimas para o conforto ergonômico dos moradores seguem os requisitos especificados pela NBR 15575-1 (2008) e citados na Tabela 6. A análise destas dimensões na planta proposta pode ser notada na Figura 44.

Para os acessos e circulação interna, adotaram-se os seguintes requisitos e dimensões sugeridas pela NBR 9050 (2004): o corredor de uso comum em edificação com extensão até 4,00 m deve ter largura mínima de 0,90 m; as portas devem ter um vão livre mínimo de 0,80 m e altura mínima de 2,10 m.

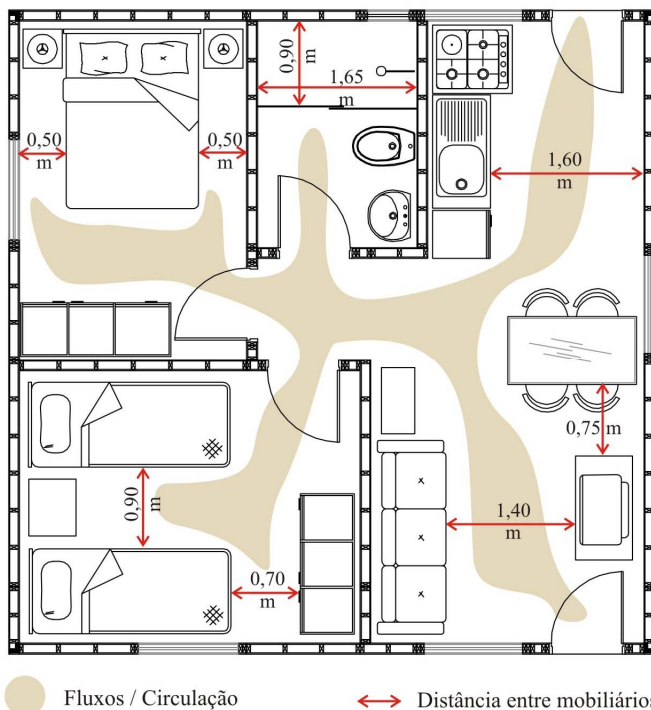


Figura 44: Dimensões entre mobiliários e demarcação do fluxo e da circulação

No entanto, apesar do projeto obedecer as dimensões mínimas para conforto ergométrico, as dimensões dos ambientes ou posicionamento dos mobiliários no projeto podem ser eventualmente redefinidos para facilitar o acesso e a circulação de cadeirantes, ou conforme outras necessidades e desejos dos moradores. Os painéis verticais do Sistema Plataforma adotados no projeto podem ser removidos da posição

original, permitindo a reordenação e a ampliação do espaço conforme as necessidades pós-ocupacionais dos moradores.

4.2.2. Estudos da flexibilidade da composição espacial da HIS proposta

A seguir, a flexibilidade da composição espacial original é demonstrada em quatro estudos, com as possibilidades de ampliação da área construída, re-ordenamento de ambientes, adição de novos ambientes e alteração do material de construção.

A Figura 45 exemplifica a possibilidade de ampliar os acessos e os espaços entre mobiliários e de alterar a entrada principal para a lateral da habitação, relocando os mesmos painéis utilizados na proposta original e adicionando alguns painéis, totalizando uma área de aproximadamente 60 m².

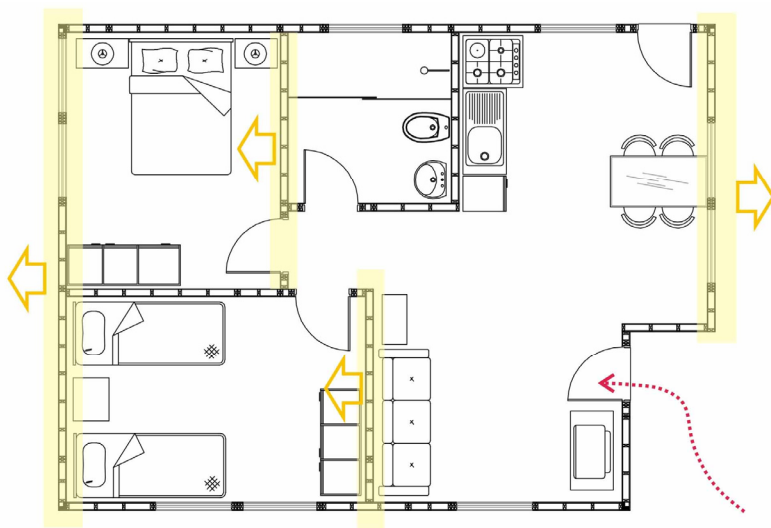


Figura 45: Relocação dos painéis para ampliar dimensões das circulações

A Figura 46 exemplifica a possibilidade de relocar o banheiro, ampliando a área da cozinha e alterando a entrada principal para a lateral da habitação pela mudança da posição de um painel-fechado por um painel-porta. Este segundo exemplo totaliza uma área de aproximadamente 59 m².

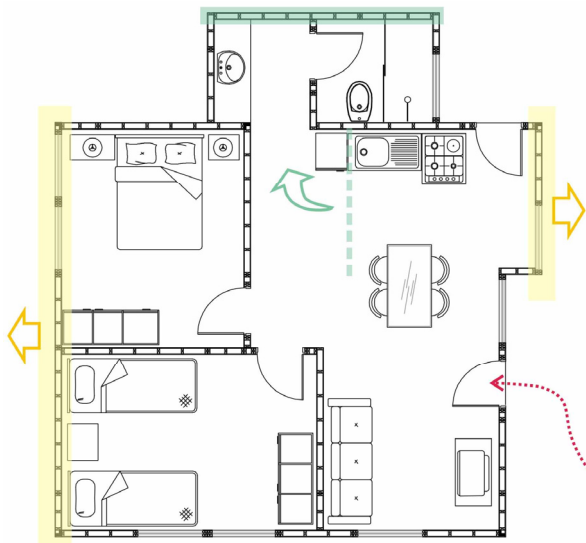


Figura 46: Alteração da distribuição dos ambientes

A Figura 47 ilustra o reposicionamento de alguns painéis, reduzindo o tamanho do quarto original para a adição de um novo quarto, alterando a área da habitação para aproximadamente 55 m².

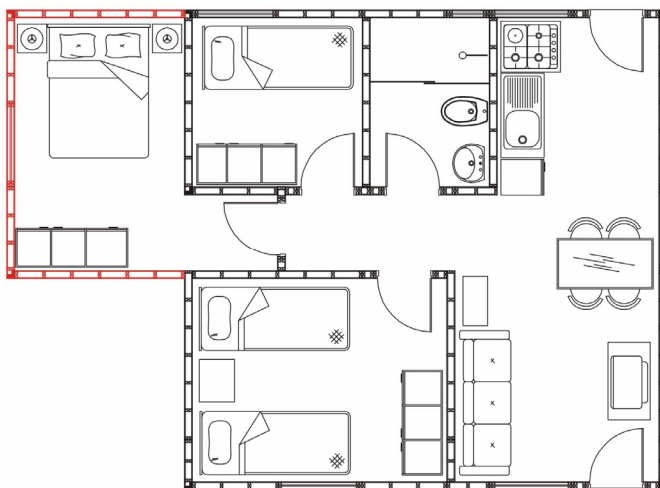


Figura 47: Evolução da HIS com a adição de um quarto

O último estudo (Figura 48) demonstra a possibilidade de alterar os materiais constituintes da habitação, desde que estes novos componentes respeitem a coordenação modular. Os painéis do banheiro e parte da parede da cozinha foram alterados por blocos estruturais com a dimensão modular de 15 cm × 20 cm × 30 cm. Outros materiais que respeitem a quadrícula modular de 2M ou 3M adotada para a HIS proposta neste trabalho também podem ser empregados nos vãos modulares dos painéis.

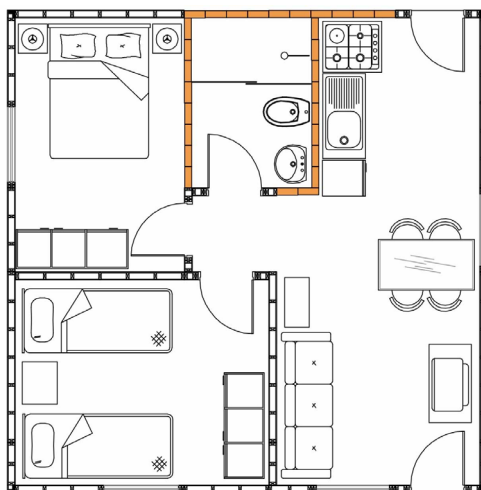


Figura 48: Alteração dos painéis por outro material de construção modular

As sugestões dadas nesses quatro estudos demonstram que o projeto da HIS, mesmo sendo condicionado por critérios de posicionamento na quadrícula modular, tem inúmeras possibilidades de composição espacial. A composição dependerá exclusivamente da necessidade da família, que decidirá como preservar sua identidade espacial, funcional e estética no projeto. A escolha dos materiais utilizados depende da disponibilidade de cada região, haja vista que a utilização de sistemas abertos permite a utilização de diversos materiais, desde que estes considerem os princípios da coordenação modular. Ressaltando que pelo grande potencial madeireiro nacional, os sistemas abertos em madeira oriunda de floresta plantada constituem uma opção viável para a prática construtiva habitacional.

4.2.3. Detalhamento dos subsistemas da habitação

A seguir são detalhados os subsistemas fundação, piso, parede, cobertura, instalações hidrossanitária e elétrica da HIS proposta (Figura 42), os quais são ilustrados na Figura 49. Os detalhes das ligações dos componentes são apresentados na próxima seção do trabalho.

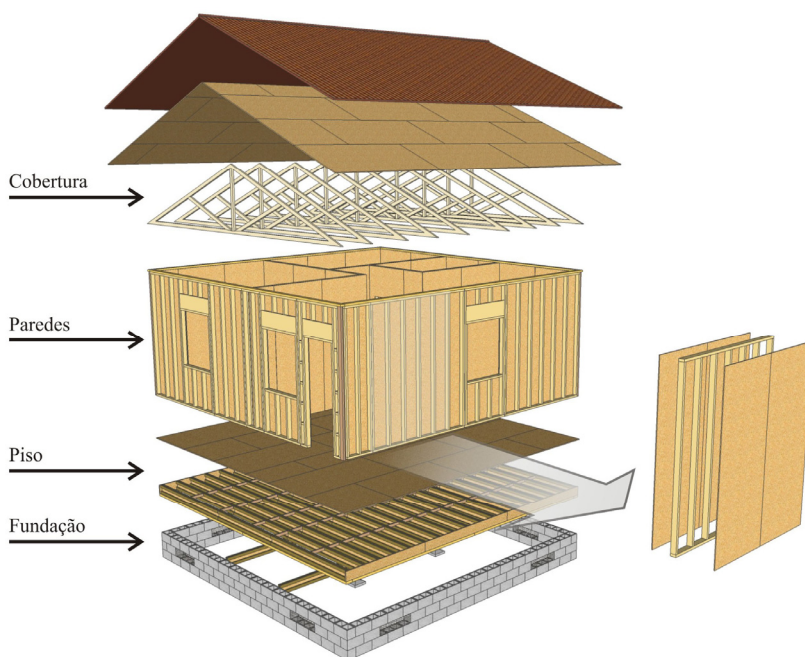


Figura 49: Perspectiva da HIS proposta

a) Fundação

Para a fundação da habitação projetada, adotou-se o bloco de concreto com as dimensões $19 \text{ cm} \times 19 \text{ cm} \times 39 \text{ cm}$. Este bloco é compatível com a quadricula modular de referência adotada para a habitação proposta, a qual é composta por componentes com dimensões modulares múltiplas de 2M ou 3M. Outros blocos também são adequados para a quadricula modular 2M ou 3M. Entretanto, a escolha do bloco $19 \text{ cm} \times 19 \text{ cm} \times 39 \text{ cm}$ para a fundação é justificada por sua compatibilidade com as dimensões em planta da edificação proposta de

680 cm \times 680 cm (Figura 42, Apêndice 6). Com o bloco adotado, não é necessário o uso de blocos complementares nessa planta modular, enquanto, os outros blocos, mesmo sendo adequados à modulação 2M ou 3M, devem sofrer quebras ou serem substituídos por blocos complementares para se ajustarem à dimensão do espaço projetado. A repetição de um único componente na execução da parede da fundação é vantajosa por contribuir para com a rapidez e a diminuição de erros no processo de montagem desse subsistema da edificação.

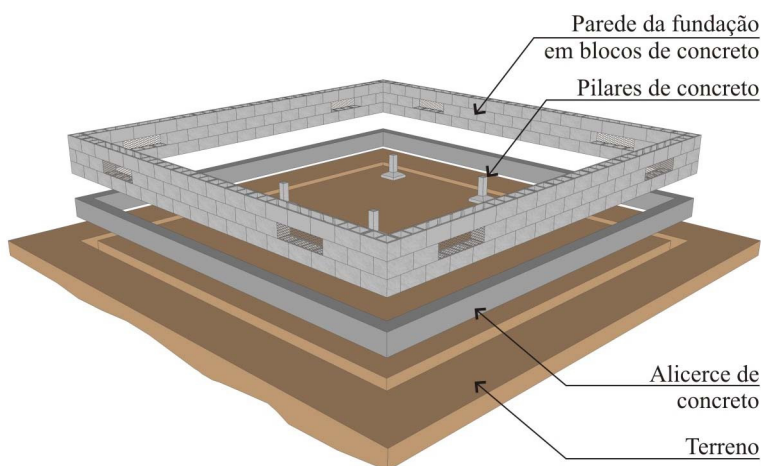


Figura 50: Subsistema fundação da HIS

A dimensão modular de um bloco inclui a dimensão da sua junta. O bloco com dimensões reais 19 cm \times 19 cm \times 39 cm corresponde ao espaço modular de 20 cm \times 20 cm \times 40 cm. A junta perimetral de cada bloco é de 1 cm, sendo 0,5 cm para cada lateral. Dessa forma, a junta entre blocos totaliza 1 cm (Figura 51). Essa junta deve ser executada com precisão, pois erros nesse sentido acarretariam em um deslocamento dos blocos na quadricula modular que, possivelmente, deve ser corrigido com a quebra de blocos ou com o acréscimo de blocos complementares.

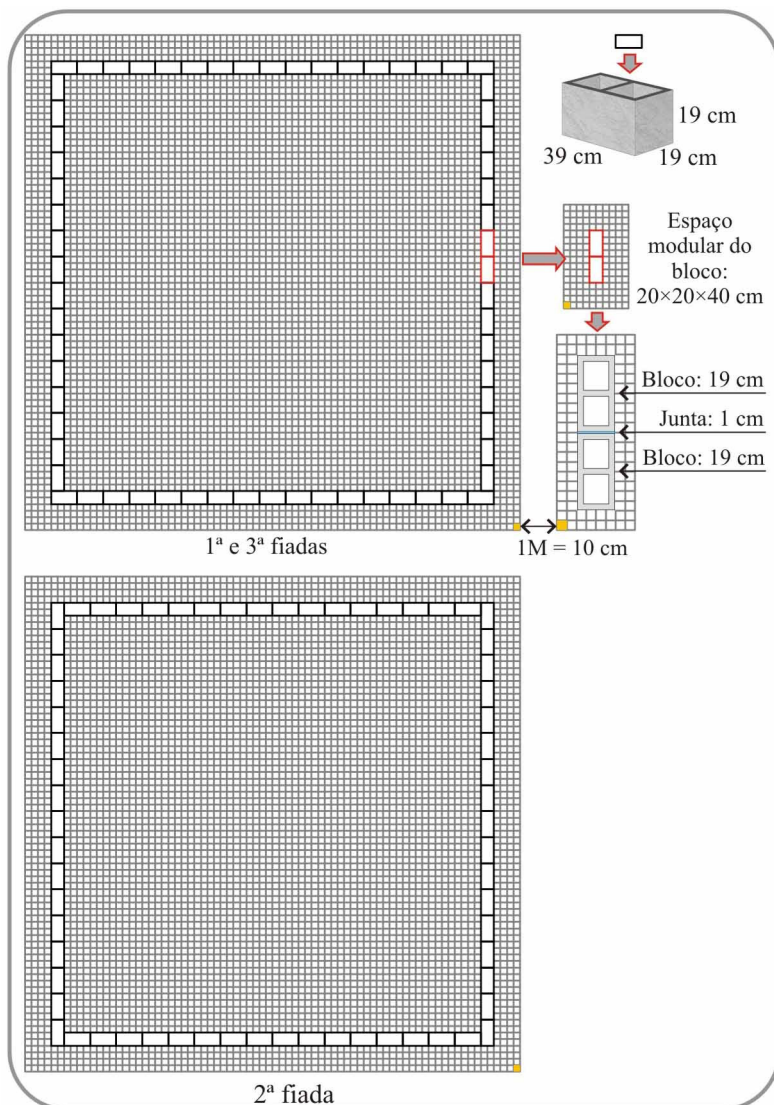


Figura 51: Disposição dos blocos de concreto de 19 cm × 19 cm × 39 cm

A parede de bloco de concreto deve estar apoiada sobre uma base ou alicerce de concreto. Como esta base de concreto está em contato direto com o solo, ela deve ser coberta com uma manta asfáltica ou outro material impermeabilizante, a fim de evitar a passagem da

umidade para os blocos e os demais componentes da edificação (Figuras 52 e 53).

A primeira fiada de blocos deve ser assentada sobre uma camada mais espessa de argamassa, garantindo que toda a face inferior dos blocos esteja em contato com a argamassa. Durante a execução, sempre deve ser usado um instrumento para conferir o nível horizontal e vertical dos blocos para assegurar os alinhamentos da parede da fundação.

Antes de assentar a última fiada de blocos, sugere-se a colocação de uma tela de aço galvanizado na junta entre a penúltima e a última fiada (Figuras 52 e 53). Esta tela tem por objetivo segurar o concreto que será depositado nos furos dos blocos da última fiada. Com a tela posicionada, os buracos dos blocos da última fiada podem ser preenchidos com concreto, e, então, os parafusos de ancoragem podem ser inseridos nas posições adequadas, deixando uma extensão livre da haste sobre o topo da parede de blocos para posteriormente inserir as peças de madeira da estrutura do piso (FEIRER et al, 1993).

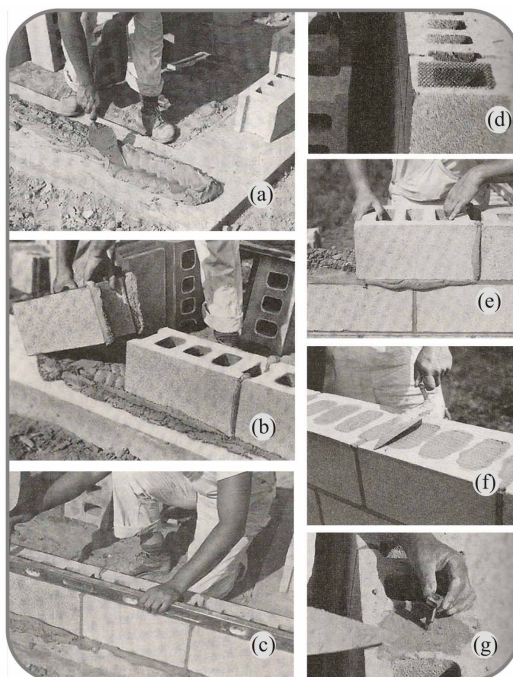


Figura 52: Passos da execução da fundação

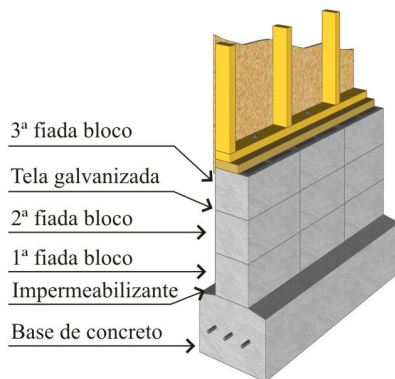


Figura 53: Detalhe da fundação

Além da parede de fundação de blocos no perímetro externo da habitação, alguns pilares individuais auxiliam no suporte da estrutura do piso. Estes pilares são apoiados em sapatas isoladas de concreto e podem ser compostos de concreto, madeira ou aço. A quantidade e o tamanho dos pilares e o espaçamento entre si depende das cargas que irão suportar (FEIRER et al, 1993). Para o presente projeto, são considerados 04 pilares, os quais foram posicionados conforme os comprimentos das vigas apoiadas neles. Os espaçamentos entre pilares foram determinados com o intuito de respeitar as dimensões modulares das vigas de apoio do piso e das vigas do piso (Figura 54).

A área formada pela fundação, entre o piso e o solo, deve ser limpa no momento da implantação e mantida ventilada durante toda a vida útil da edificação. Para isso, devem ser feitas aberturas nas paredes externas da fundação para prover essa ventilação. Segundo o IRC (2009), a área mínima de abertura para ventilação deve ser $0,67 \text{ m}^2$ para cada 100 m^2 de área entre piso e solo. Cada abertura para ventilação deve estar a uma distância de no mínimo 91,4 cm dos cantos da fundação. E, para evitar a entrada de animais, as aberturas de ventilação podem ser protegidas por chapas metálicas furadas, grades metálicas ou blocos vazados. Neste projeto, a área entre piso e solo corresponde à $46,50 \text{ m}^2$ e as paredes da fundação contêm 8 aberturas de $0,16 \text{ m}^2$ cada, totalizando uma área de aberturas de $1,28 \text{ m}^2$. Essas aberturas são suportadas por blocos canaleta de $19 \text{ cm} \times 19 \text{ cm} \times 39 \text{ cm}$ preenchidos com concreto e ferro e fechadas com grades metálicas com malha de $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$ (Figura 55).

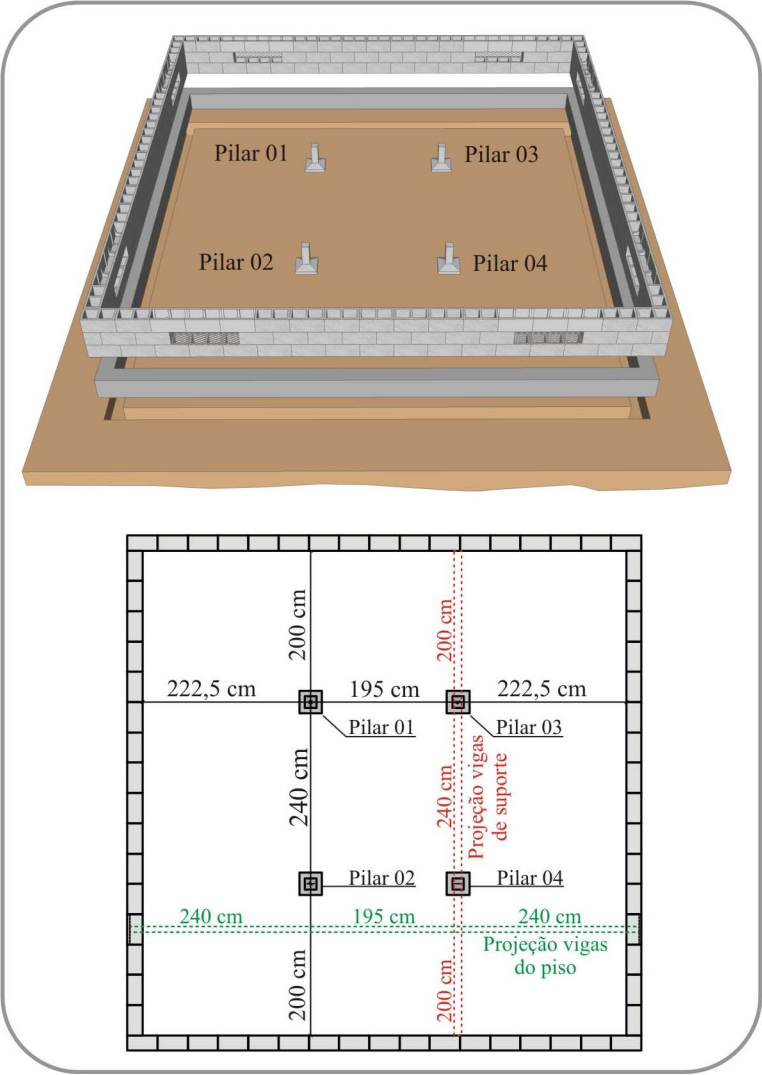


Figura 54: Posicionamento dos pilares

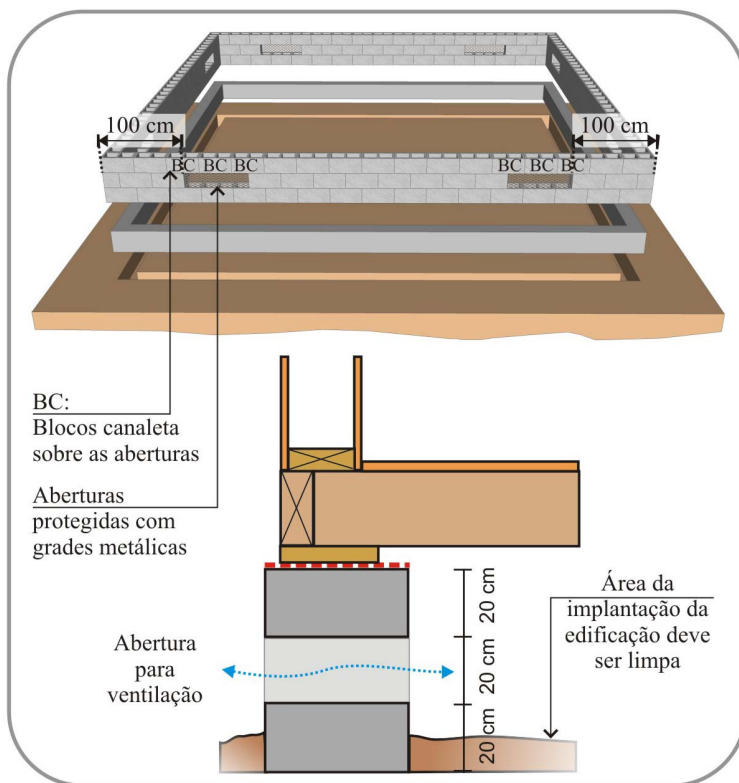


Figura 55: Detalhe das aberturas de ventilação

b) Piso

O subsistema piso da habitação proposta é composto principalmente por uma estrutura de plataforma. A plataforma de piso é composta por um conjunto de vigas contraventadas por peças intermediárias, peças de fechamento lateral externo e chapas estruturais na superfície superior das vigas. Esta plataforma está apoiada sobre soleiras ancoradas na parede da fundação e sobre duas vigas de suporte posicionadas sobre os pilares de concreto (Figura 56).

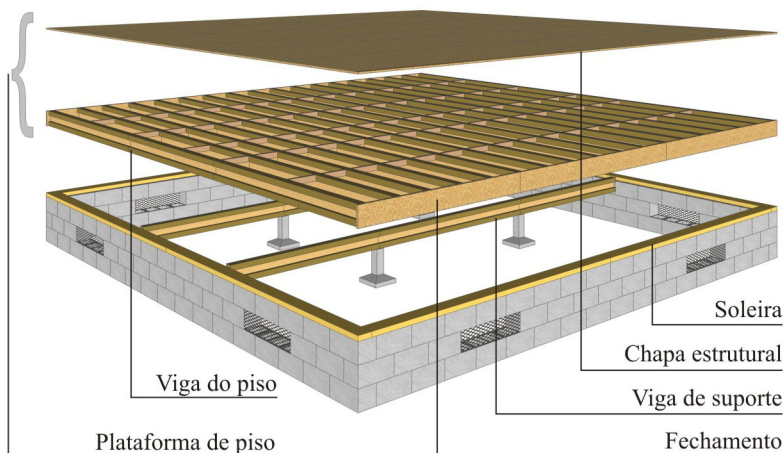


Figura 56: Componentes do piso

A **soleira** é uma peça de madeira situada entre a fundação e a estrutura da plataforma de piso. Segundo o IRC (2009), a seção da soleira deve ter dimensões mínimas de 5,1 cm \times 10,2 cm. Neste trabalho, adotou-se, para esta peça, a seção de 5 cm \times 15 cm, para obter o apoio adequado dos componentes da plataforma de piso sobre os blocos de concreto da parede da fundação (Apêndice 7).

A soleira deve ser tratada previamente com produtos químicos, como o CCA, para proteção contra umidade e ataque de insetos xilófagos. Além disso, como esta peça de madeira está em contato direto com a fundação, a qual está propensa à umidade do solo, sugere-se a aplicação de um material isolante entre a soleira e a parede da fundação para aumentar a proteção das peças de madeira contra a umidade (Figura 57). Este material isolante pode também apresentar as seguintes funções: ajustar as possíveis irregularidades de alinhamento horizontal dos blocos da fundação, selar a peça contra a passagem de ar e isolar termicamente o piso da edificação. Geralmente, este material é uma membrana impermeabilizante de polietileno (FEIRER et al, 1993).

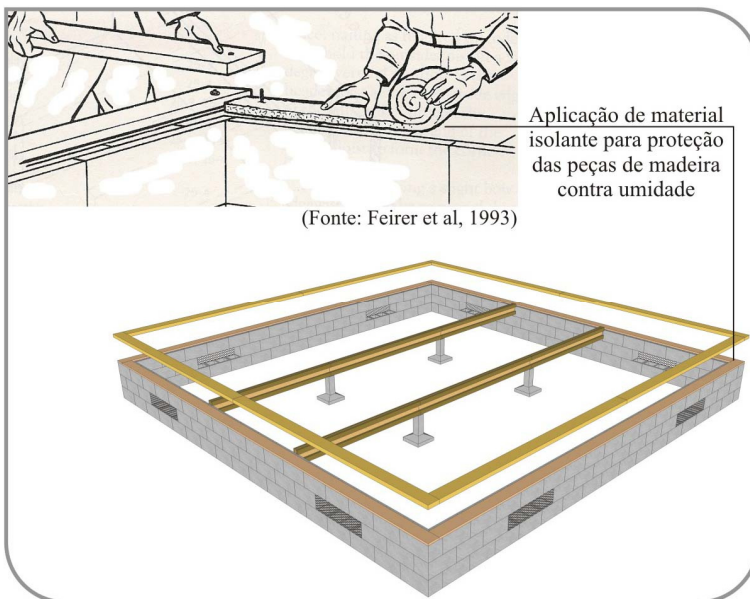


Figura 57: Isolamento das peças da soleira conta umidade

A plataforma de piso, além de estar apoiada sobre as soleiras, apóia-se também nas **vigas de suporte**, as quais estão posicionadas no sentido contrário ao comprimento das vigas do piso. Para suportar adequadamente a carga da residência, as vigas de suporte são vigas duplas de seção “I”, pregadas entre si com 2 pregos 10d ($\varnothing 3,8 \text{ mm} \times 76,2 \text{ mm}$) espaçados em 30 cm, de forma alternada em cada lateral da viga, adotando uma peça de madeira de preenchimento entre as mesmas para auxiliar a fixação (APA, 2004), conforme a Figura 58.

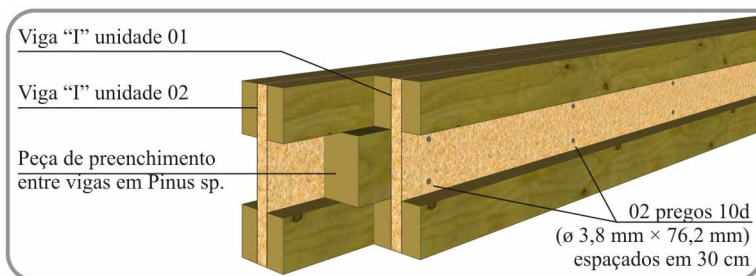


Figura 58: Fixação das vigas duplas de seção “I” para vigas de suporte

Cada unidade de viga “I” é composta por uma alma de chapa estrutural de OSB e banzos de madeira maciça de pinus de floresta plantada. Os banzos são constituídos por 04 barrote com seção 3 cm × 6 cm, os quais são unidos à alma com cola e com pregos anelados de 2,7 mm × 70 mm ($\varnothing = 2,7$ mm e $L = 70$ mm) inseridos a cada 15 cm de forma intercalada com o auxílio de pregadeiras pneumáticas. A alma é constituída por chapas OSB de 1,8 cm de espessura e 20 cm de altura (Figura 59, Apêndice 7).

A composição destas vigas é baseada nos estudos realizados por Santos (2005) e Lima (2003) sobre o comportamento das vigas de madeira com seção I aplicados em diafragmas horizontais construídos em sistemas leves de madeira, nos quais os autores realizaram ensaios em vigas I com esta mesma composição adotada na proposta desta habitação. Segundo os autores, as vigas I apresentam uma alternativa estrutural excelente de fácil fabricação, fáceis transporte e manuseio e elevada relação resistência/peso próprio.

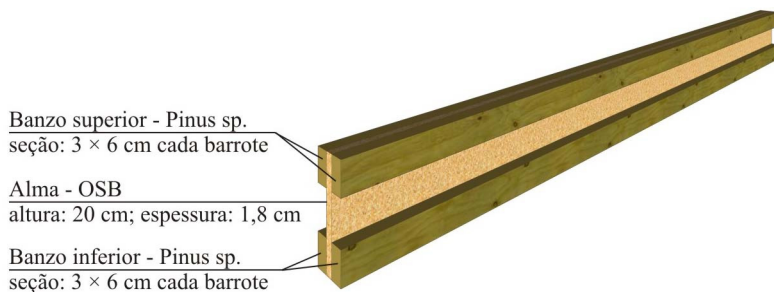


Figura 59: Detalhe da composição das vigas do piso

O projeto da HIS apresenta duas linhas de vigas de suporte, onde cada linha é composta por duas vigas duplas com comprimento de 240 cm e uma viga dupla com comprimento de 195 cm (Figura 60, Apêndice 7). O topo dessas vigas deve estar nivelado com o topo da soleira, para o apoio adequado dos componentes da plataforma de piso.

As vigas da plataforma de piso apresentam a mesma composição das vigas de suporte, visando minimizar a diversificação de produtos, racionalizando a construção. Na plataforma de piso, cada linha de viga é composta por duas vigas de comprimento 240 cm e uma viga de comprimento 195 cm. O espaçamento entre as linhas de vigas deve seguir o mesmo espaçamento entre os montantes dos painéis de parede, pois os montantes devem estar apoiados sobre as vigas. Para a habitação

proposta, adotou-se o espaçamento máximo de 40 cm entre o centro das peças (Figura 61, Apêndice 8).

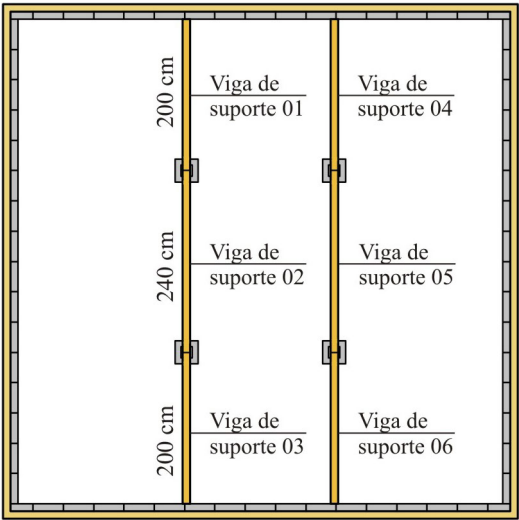


Figura 60: Visualização em planta da soleira e das 06 vigas duplas de suporte

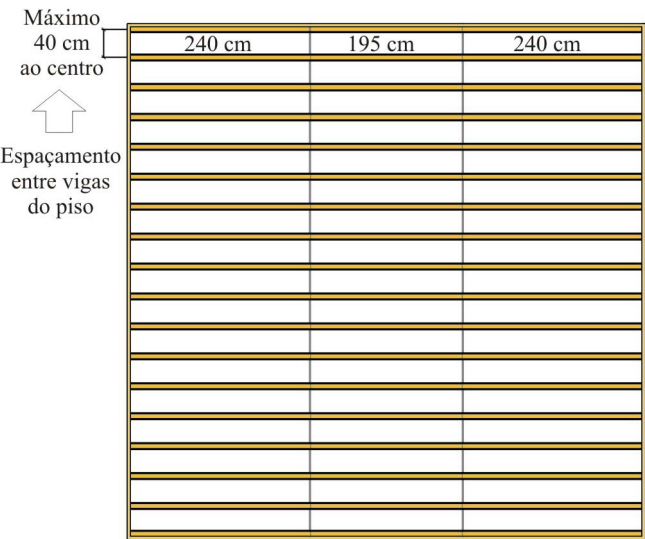


Figura 61: Visualização em planta das vigas da plataforma de piso

Nas laterais externas da plataforma de piso, são aplicadas **chapas de fechamento** conhecidas como “Rim Board”, as quais podem ser de OSB (Oriented Strand Board) ou LVL (Laminated Veneer Lumber) conforme as cargas solicitantes. As chapas de fechamento são componentes estruturais que transferem cargas laterais e verticais, agindo em conjunto com as vigas do piso. A chapa de fechamento adotada para a HIS é de OSB com 2,5 cm de espessura e 20 cm de altura (Figura 62, Apêndice 8). Além de transferir as cargas, as chapas também conferem maior estabilidade e contraventamento às vigas do piso.

No entanto, apenas as chapas de fechamento exterior não são suficientes para garantir o contraventamento das vigas. Por isso, **elementos intermediários enrijecedores** são fixados nos banzos superiores das vigas do piso (Figura 62). Estes elementos são de pinus e apresentam seção de 5 cm × 7 cm, conforme o estudo realizado por Santos (2005). Estes enrijecedores são distribuídos conforme a posição das chapas de OSB do piso, pois estas chapas são pregadas nas vigas I e nestes elementos de madeira enrijecedores entre vigas. E, segundo Santos (2005), a resistência e a rigidez da plataforma de piso estão diretamente relacionadas ao número de pregos utilizados na fixação das chapas de piso, e a utilização de elementos enrijecedores permite o aumento do número de pregos nas extremidades das chapas.

O fechamento superior do piso é realizado com **chapas estruturais OSB** posicionadas com o maior comprimento na direção perpendicular às vigas do piso (Figura 63). Na colocação das chapas, deve-se cuidar para que estas tenham suas extremidades finais alternadas, nunca coincidindo na mesma linha. Além disso, deve-se deixar uma junta de 3 mm entre as chapas, e, para isso, pode-se utilizar um prego com diâmetro dessa mesma dimensão para uniformizar e garantir as juntas. Para que as chapas sejam apropriadas para a malha modular de 10 cm, estas devem prever e incluir as juntas nas dimensões do seu espaço modular, por isso, as dimensões reais das chapas sofrem um decréscimo do valor da junta. Para cobrir o piso da habitação, empregaram-se espaços modulares com as seguintes dimensões: 120 cm × 240 cm, 120 cm × 200 cm, 120 cm × 120 cm, 80 cm × 240 cm, 80 cm × 200 cm, 80 cm × 120 cm.

A espessura da chapa OSB adotada no projeto do piso da habitação é de 15,5 mm. Segundo SBA (2004), esta é a espessura mínima indicada para chapas de piso aplicadas sobre vigas espaçadas a 40 cm. Sobre esta chapa de piso é permitido aplicar acabamentos em carpet, taco de madeira e piso cerâmico. Os pisos cerâmicos devem ser fixados com

cimento cola. Todavia, antes de assentá-los nas áreas molhadas da edificação, a Masisa (2006) recomenda aplicar produtos impermeabilizantes sobre as chapas OSB, como mantas asfálticas ou argamassas poliméricas. Já nas áreas secas, essa impermeabilização não é necessária.

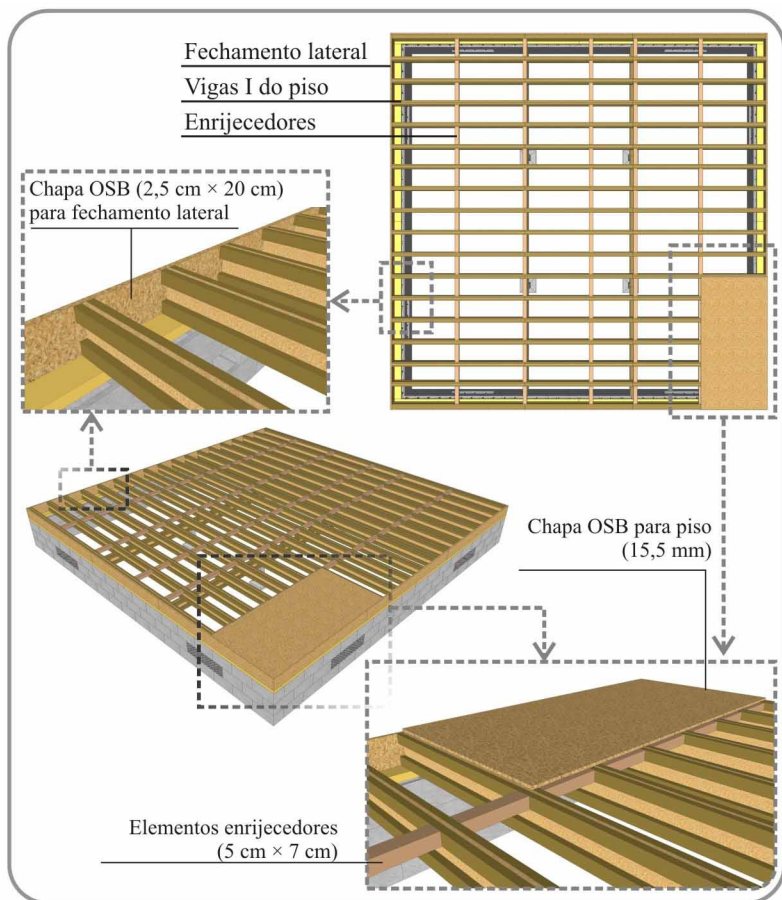


Figura 62: Detalhes da chapa de fechamento lateral e dos elementos enrijecedores entre vigas do piso

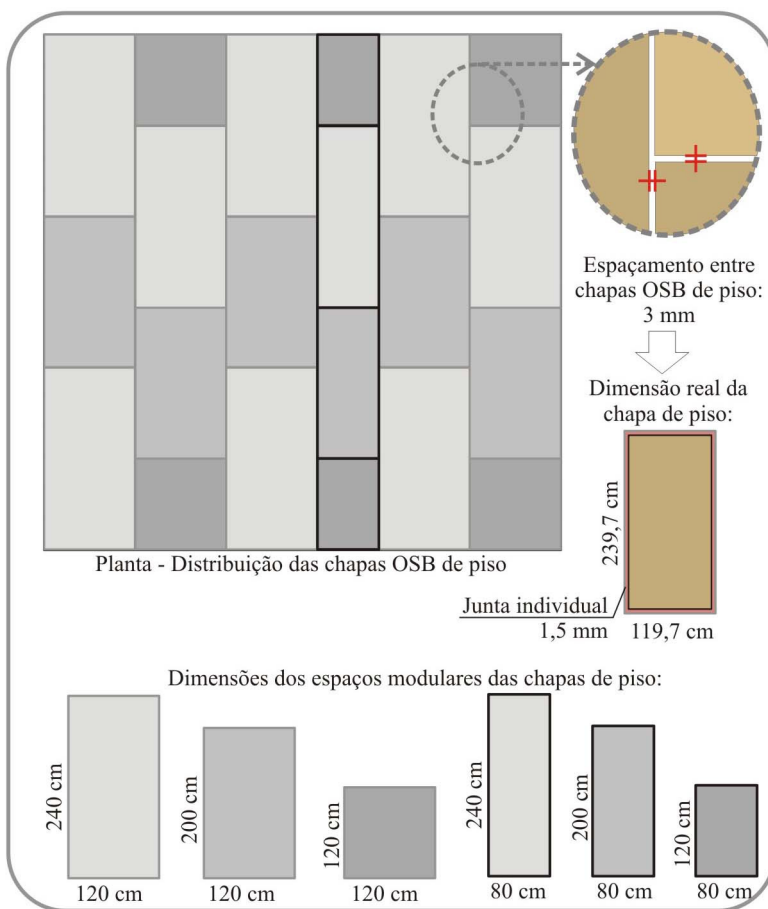
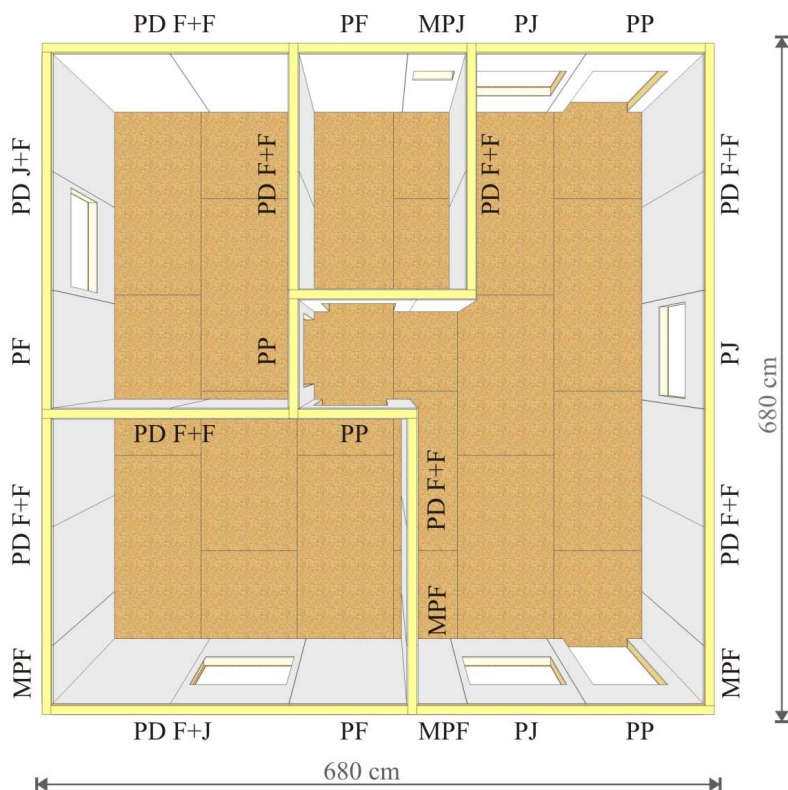


Figura 63: Distribuição das chapas OSB no piso da HIS

c) Parede

As paredes da HIS são compostas pelos painéis coordenados propostos para os vãos modulares: 60 cm × 280 cm, 120 cm × 280 cm e 240 cm × 280 cm (Figura 64). Conforme já detalhado anteriormente, a ossatura dos painéis apresenta montantes com seção 4 cm × 9 cm espaçados, no máximo, a 40 cm, barras inferior e superior de 4 cm × 9 cm cada, fechamento externo por chapas OSB de 12,5 mm de espessura e fechamento interno por chapas de gesso acartonado de 12,5 mm de espessura, a fim de proporcionar segurança contra incêndio (Figura 65).

Sugere-se que os painéis verticais coordenados sejam montados em fábrica e transportados ao canteiro, onde são unidos (Figura 66).



Legenda

PP: painel porta MPF: meio painel fechado PD F+F: painel duplo fechado+fechado
 PJ: painel janela MPJ: meio painel janela PD F+J: painel duplo fechado+janela
 PF: painel fechado

Figura 64: Distribuição dos painéis verticais na composição espacial da HIS

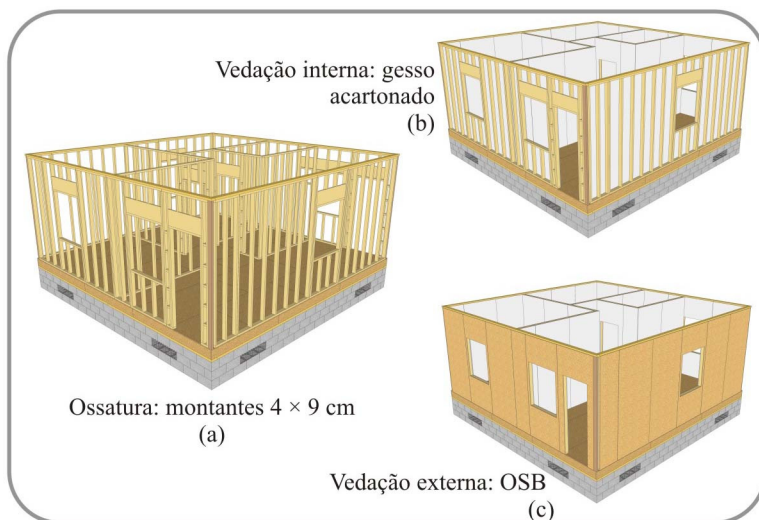


Figura 65: Perspectivas da ossatura e das vedações interna e externa das paredes

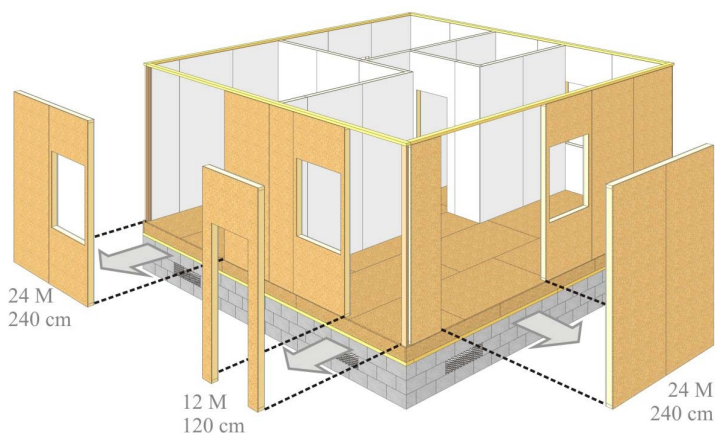


Figura 66: Painéis montados em fábrica e unidos no canteiro

O encontro entre os painéis verticais pode ocorrer lateral ou perpendicularmente. No encontro lateral, os painéis são unidos de forma simples com prego ou parafuso fixando os montantes externos de cada painel lado a lado. Segundo Feirer et al (1993), quando o encontro entre painéis é perpendicular, é necessário adicionar peças de madeira entre os montantes para facilitar a união segura dos painéis. Por exemplo, no encontro entre três painéis conforme ilustra a Figura 67, pode ser

adicionada uma peça com a mesma dimensão do montante 4 cm × 9 cm, na qual os três painéis serão fixados.

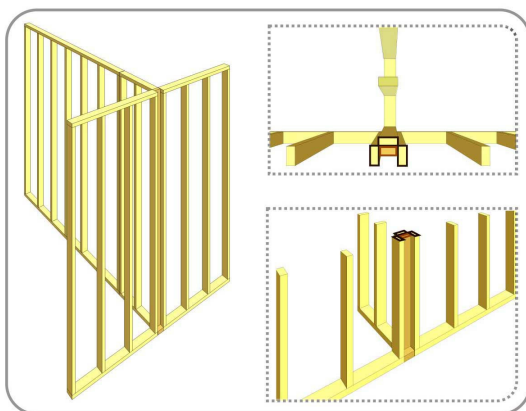


Figura 67: Encontro perpendicular entre três painéis de parede

Outra situação é o encontro de dois painéis perpendiculares, onde um painel necessita ser fixado entre os montantes do segundo painel (Figura 68). Neste caso, devem ser adicionadas peças de madeira entre os montantes do segundo painel para reforçar sua ossatura, nas quais o outro painel é fixado. Um reforço similar entre montantes geralmente é realizado para a fixação dos móveis na parede, distribuindo o peso do móvel entre os montantes do painel (FEIRER et al, 1993).

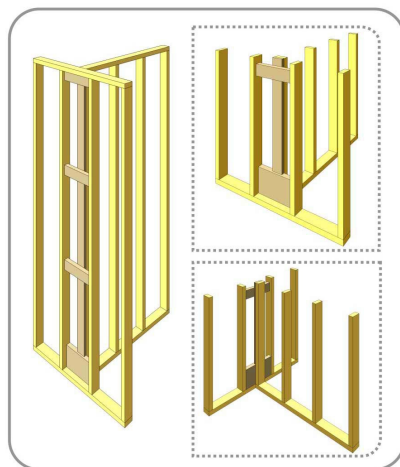


Figura 68: Encontro perpendicular entre dois painéis de parede

Na união de canto de painéis verticais externos, duas peças de madeira são aplicadas conforme demonstrado na Figura 69. Segundo os resultados de ensaios realizados por Velloso et al (2008), essa composição das peças adicionais proporciona um bom desempenho estrutural para as paredes em relação a sua resistência a cargas laterais e rigidez.

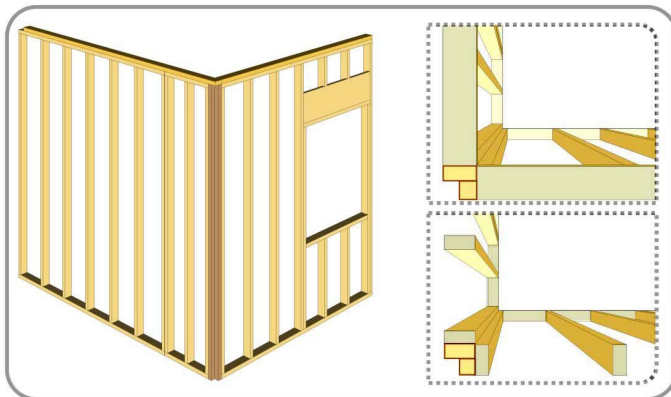


Figura 69: União de canto dos painéis verticais externos

Após a união e a fixação de todos os painéis de parede, uma travessa superior é colocada sobre a travessa superior dos painéis, formando uma travessa superior dupla que auxilia na rigidez e estabilidade das paredes (Figura 70).

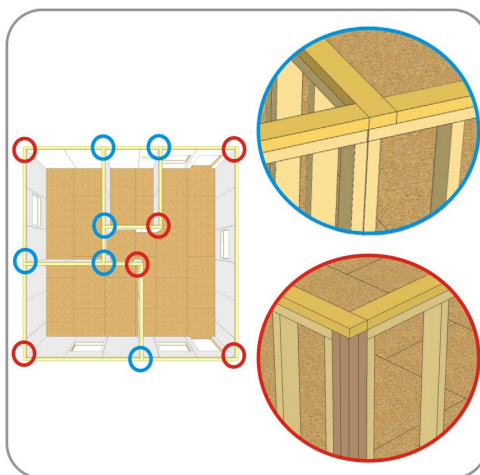


Figura 70: União de canto dos painéis verticais externos

Para proteger os painéis verticais contra ação de intempéries, estes devem receber um revestimento externo composto principalmente por um material impermeabilizante e “sidings” (Figura 71). O material impermeabilizante é do tipo “Tyvek”, ou seja, uma película composta de fibras de polietileno que é específico para impedir a entrada da água para o painel vertical. Esta película impermeabilizante é aplicada sobre as chapas OSB, sobrepondo suas extremidades e evitando qualquer abertura e passagem de umidade.

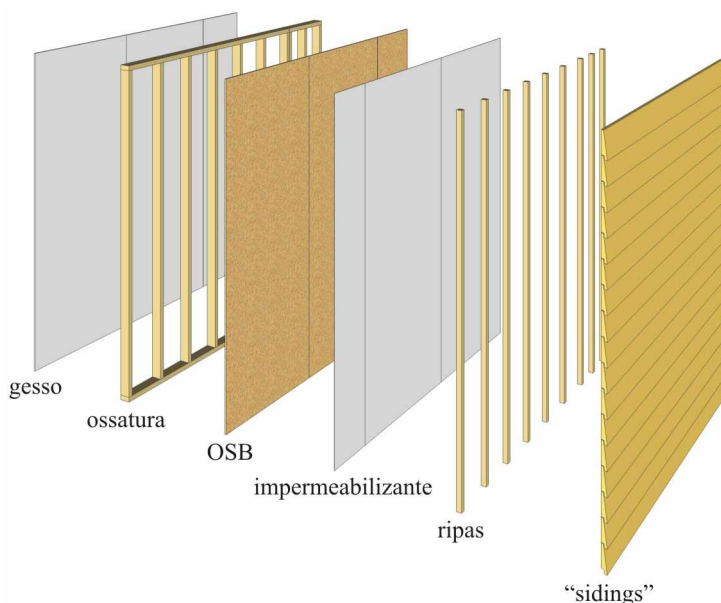


Figura 71: Elementos que compõem as paredes externas

Após o impermeabilizante, os “sidings” são aplicados dando o acabamento externo final para a parede. O “siding” é um material de revestimento geralmente composto por tábuas de madeira tratadas quimicamente, visando principalmente sua proteção contra as intempéries, ou pode ser também de material vinílico. Para a HIS, adotou-se “sidings” com altura de 20 cm, em madeira de *Pinus sp* tratados com CCA (SÁNCHEZ, 1995). Os “sidings” não são aplicados diretamente na parede. Entre a película impermeabilizante e os “sidings” são colocadas pequenas ripas de madeira, para a ventilação da parede. Sobre elas, são pregados os “sidings” (Figura 72).

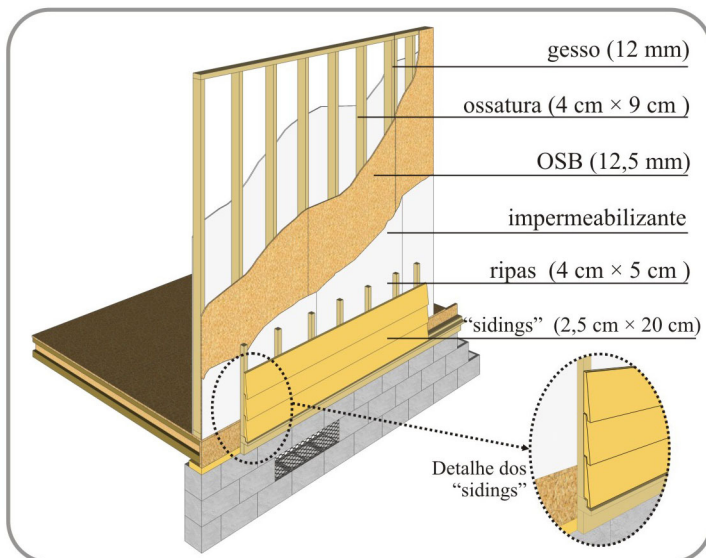


Figura 72: Detalhe dos elementos da parede externa

d) Cobertura

A cobertura da HIS é composta por treliças pré-fabricadas em madeira contraventadas em "X" nas duas testadas, chapas OSB e telhas cerâmicas, conforme a Figura 73.

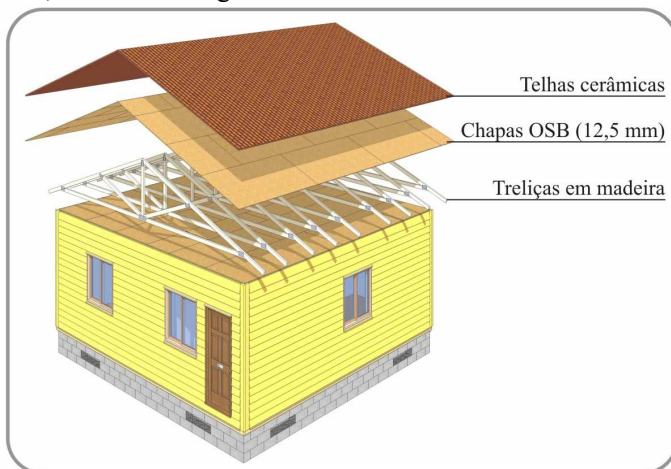


Figura 73: Composição da cobertura da HIS

As treliças de madeira são inteiramente pré-fabricadas e então transportadas para a obra, onde são erguidas e fixadas sobre as paredes da habitação (Figura 74). As peças de madeira que compõem as treliças apresentam seção de 4 cm × 9 cm e são unidas por chapas dentadas. A cobertura da HIS contém 9 treliças, incluindo as treliças dos dois oitões, detalhadas no Apêndice 9.



Figura 74: Treliças pré-fabricadas em madeira

Para o contraventamento das treliças, chapas de OSB com espessura de 12,5 mm são colocadas sobre as mesmas. A disposição e as dimensões modulares das chapas são observadas na Figura 75. O comprimento e a largura das águas do telhado foram dimensionados priorizando o critério das dimensões modulares das chapas, totalizando um comprimento de 780 cm e uma largura inclinada de 420 cm.

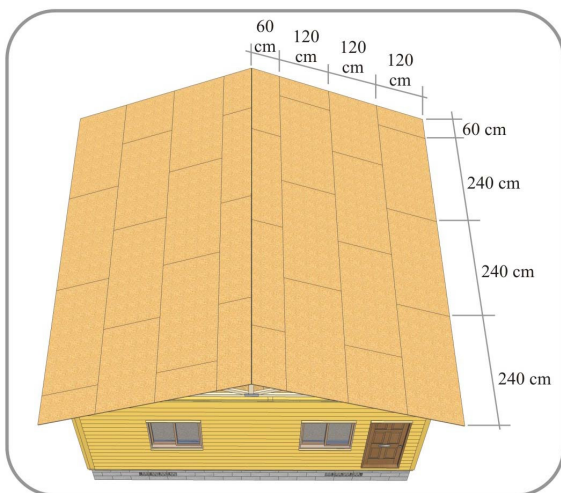


Figura 75: Distribuição e posicionamento das chapas OSB da cobertura

Entre as telhas e as chapas de OSB, deve ser aplicado um material isolante termo-acústico, como por exemplo, as mantas de lã de vidro da “ISOVER”, e também um material impermeabilizante igual ao aplicado nas paredes da habitação, como o filme de polietileno da “Tyvek”. Estes materiais devem ser aplicados antes da fixação das ripas, e devem ter suas extremidades sobrepostas para evitar qualquer infiltração da água da chuva, conforme demonstra a Figura 76. Após a fixação dos materiais isolantes, são colocadas as ripas nas quais as telhas cerâmicas são apoiadas e amarradas.

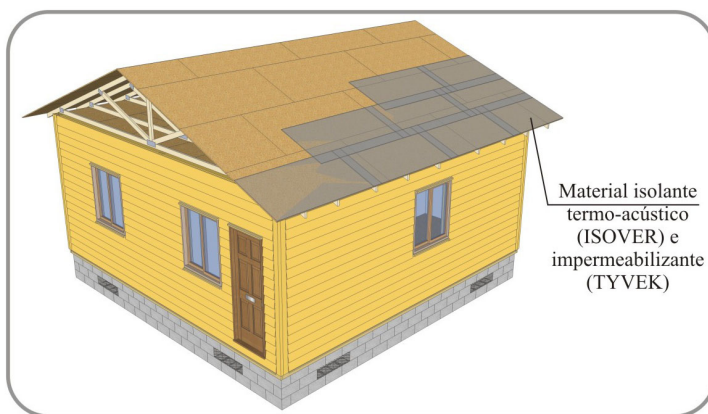


Figura 76: Detalhe da aplicação do material isolante na cobertura

No beiral da cobertura, uma aba de madeira é pregada para proteção das extremidades das peças da treliça contra a ação das intempéries. Com esse mesmo intuito, uma linha de calha é instalada nos beirais, conforme ilustra a Figura 77.

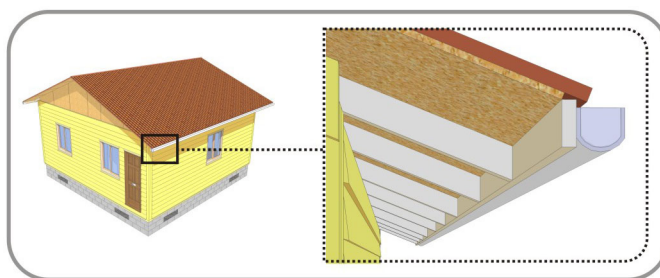


Figura 77: Detalhe do beiral da cobertura

Os oitões da habitação apresentam estrutura similar à estrutura das paredes (Figura 78). Estes são fechados com chapas OSB que acompanham a inclinação do telhado, e então são vedados com material impermeabilizante do tipo “Tyvek”. E, seu revestimento externo é composto por “sidings” de madeira fixados sobre ripas verticais de madeira.

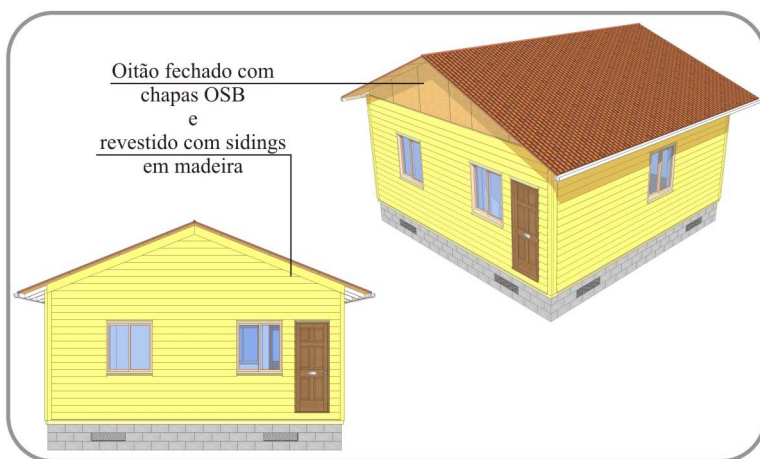


Figura 78: Detalhe da vedação e do revestimento dos oitões

e) Sistema hidrossanitário

O sistema hidrossanitário da habitação é do tipo convencional com tubulação em PVC para água fria e em cobre para água quente. A caixa d'água estimada para a família de 4 pessoas é um reservatório de 1000 litros, que está localizado em uma torre externa à cobertura da edificação (Figura 79). A utilização de uma torre externa foi motivada pelo fato da caixa d'água apresentar dimensões superiores em relação à altura do oitão da cobertura, além disso, se o reservatório fosse interno, na cobertura na habitação, seria necessário recortar as treliças da cobertura para o seu posicionamento e apoiá-lo sobre uma estrutura de plataforma de piso. Adicionalmente, a torre externa do reservatório de água facilita a alteração da altura deste em relação ao chuveiro e aos equipamentos de aquecimento solar, além de permitir a flexibilidade da cobertura, alterando as treliças de posição quando necessário.



Figura 79: Posicionamento da caixa d'água em torre externa à cobertura

O painel do sistema hidráulico apresenta seções diferentes dos painéis de parede. Segundo Feirer et al (1993), geralmente a seção das peças que compõem o painel hidráulico é de 4 cm × 15 cm, por causa dos recortes que estas peças devem sofrer para receber as tubulações (Figura 80).

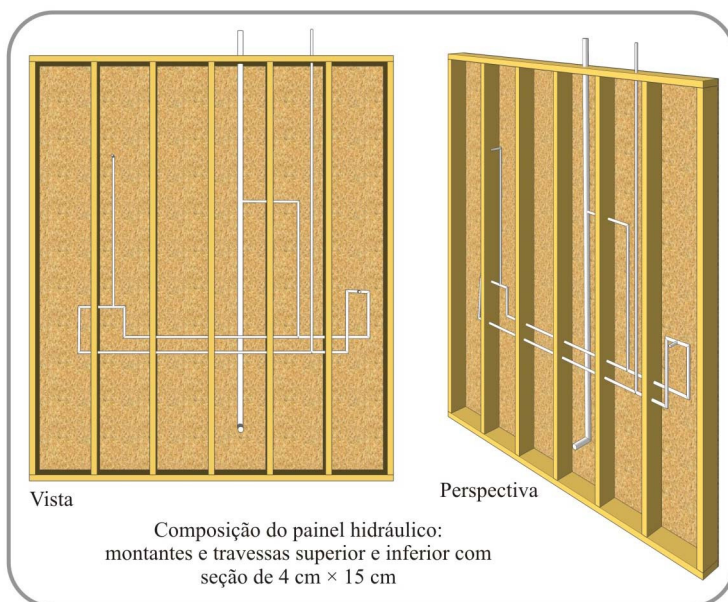


Figura 80: Composição do painel hidráulico

As paredes e o piso do banheiro são cobertos com revestimento cerâmico, aplicado sobre as chapas OSB com cimento-cola (Figura 81).

As louças, como o vaso sanitário e o lavatório, são fixadas em peças de madeira que reforçam a ossatura do painel de parede, entre os montantes, e a plataforma de piso, entre as vigas (Figura 82).

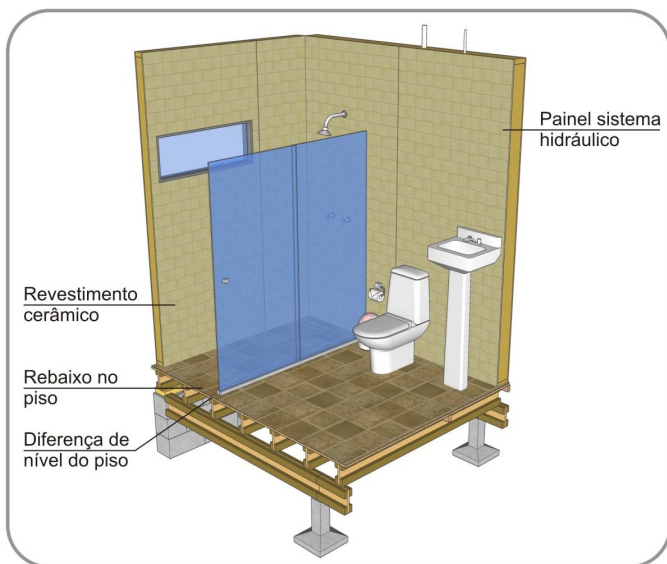


Figura 81: Perspectiva do banheiro

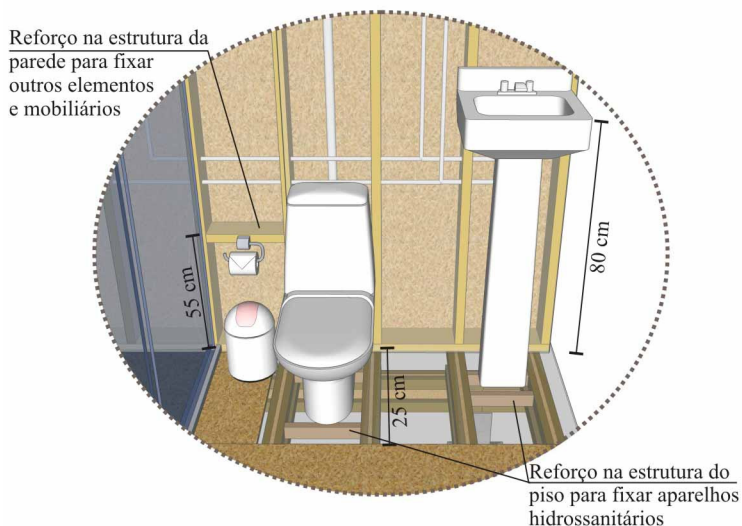


Figura 82: Detalhe do reforço na estrutura para fixação das louças

A diferença de nível no piso do banheiro, com o rebaixo para a área do chuveiro e do box, foi realizada com a alteração das alturas das vigas de piso, sob esta área. Foram posicionadas 3 vigas I com 15 cm de altura, diferentes das vigas padrão restantes em todo piso da habitação com altura de 20 cm (Figura 83).

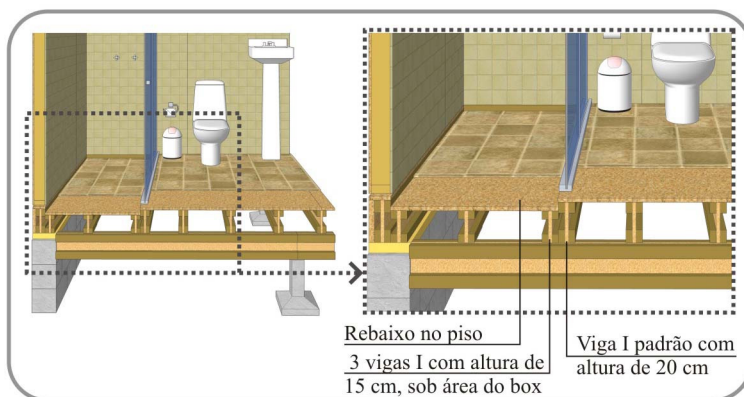


Figura 83: Detalhe da diferença de altura das vigas para o rebaixo na área do box

f) Sistema elétrico

O sistema elétrico e seus componentes seguem os critérios estabelecidos pela NBR 5410 (2004). A fiação é protegida por eletrodutos flexíveis corrugados com diâmetro de $\frac{3}{4}$ " (25 mm), os quais se estendem pela travessa superior e pelos montantes dos painéis de parede. As caixas de interruptores e tomadas são fixados nas laterais dos montantes (Figura 84).

Os montantes devem ser furados com diâmetro máximo de 3 cm no centro da peça para a passagem do eletroduto (Figura 86). Segundo o Western Wood Product Association (2007), os montantes com seção de 4 cm × 9 cm, de painéis com função estrutural ou não, podem ser furados 40% da profundidade da peça.

Nesta proposta, para a passagem dos eletrodutos, adotou-se preferencialmente a furação dos painéis fechados de largura modular de 120 cm e 240 cm, evitando a passagem da fiação pelos painéis porta e janela, conforme demonstra a Figura 85.

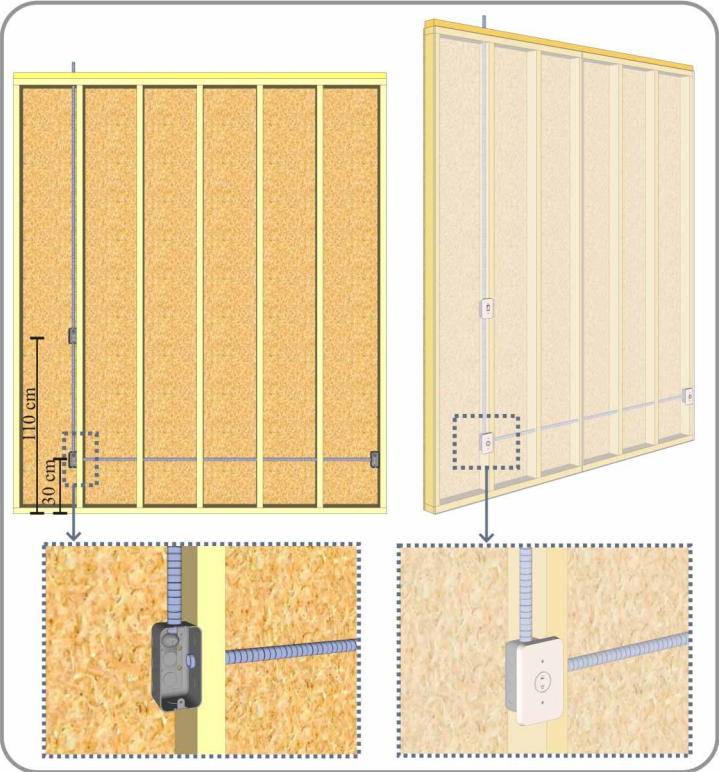


Figura 84: Fixação das caixas de interruptores e tomadas nas laterais dos montantes

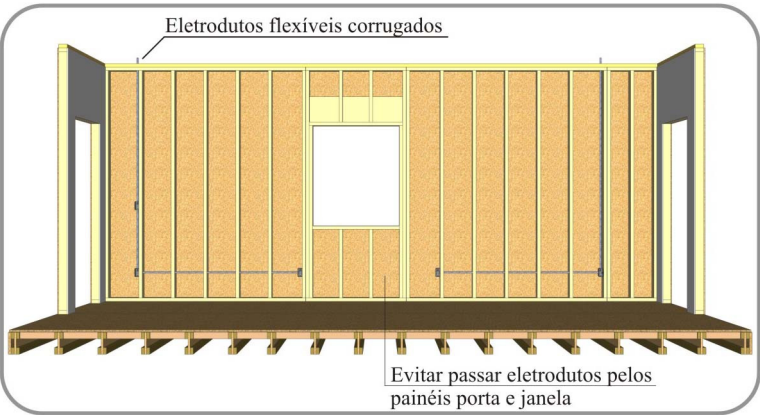


Figura 85: Detalhe da passagem dos eletrodutos na parede da HIS

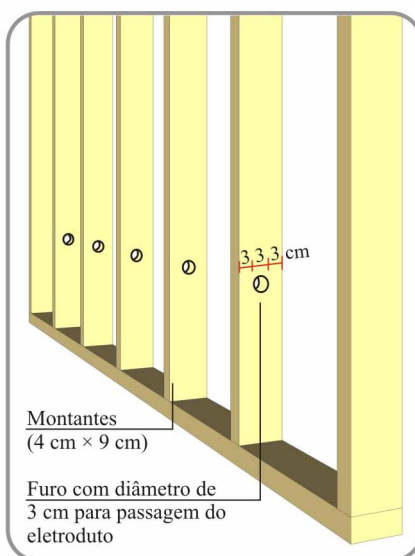


Figura 86: Dimensão dos furos para passagem dos eletrodutos

4.2.4. Detalhamento das conexões dos principais componentes

Neste item são especificadas as ligações dos seguintes componentes da habitação proposta: soleira na fundação, vigas de suporte na fundação, chapa de fechamento lateral nas soleiras e nas vigas do piso, vigas do piso nas soleiras, chapas OSB na estrutura de vigas do piso, montantes nas travessas inferior e superior da parede, chapa OSB e gesso acartonado na ossatura dos painéis de parede, painéis de parede entre si e na plataforma de piso, travessa superior dupla nos painéis de parede, e treliças da cobertura na travessa superior dupla.

a) Fixação da soleira na fundação

A soleira deve ser ancorada na estrutura da fundação para evitar o arrancamento da peça (Figura 87). Os parafusos de ancoragem são posicionados e inseridos logo após o preenchimento dos blocos da última fiada da parede da fundação com concreto. Os parafusos devem estar corretamente na posição vertical e apresentar uma extensão como

uma espera para o posicionamento adequado da soleira sobre os blocos da fundação.

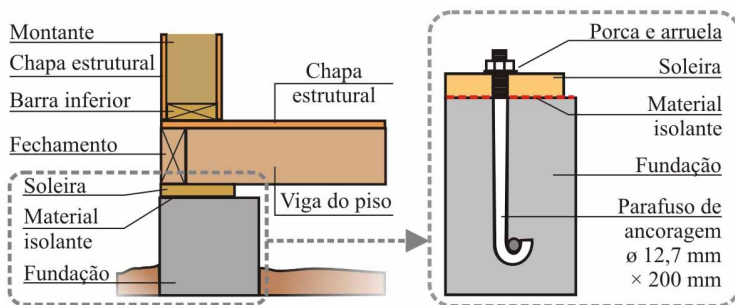


Figura 87: Fixação da soleira na fundação

Como demonstrado na Figura 88, primeiramente, a peça da soleira deve ser colocada lado a lado com os parafusos para ser marcada, e, então, furada na posição correta, para posteriormente ser posicionada sobre a fundação. Prevendo a possibilidade dos erros de execução, aconselha-se furar a peça da soleira com uma dimensão ligeiramente maior que o diâmetro do parafuso de ancoragem. Segundo Lewis e Vogt (2000), a dimensão do furo deve ser o diâmetro do parafuso somado a $1/8$ desse diâmetro para permitir os devidos ajustes no momento de encaixar as peças.

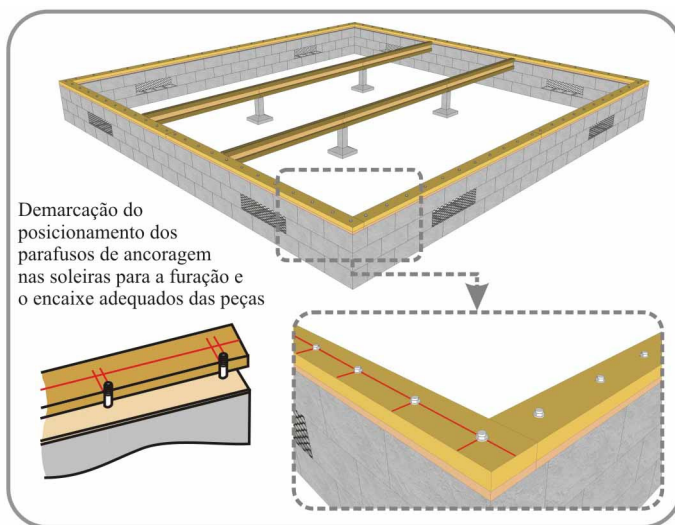


Figura 88: Demarcação do posicionamento dos parafusos na soleira

Com relação à ligação da soleira à fundação, o International Residential Code (IRC, 2009) afirma que os parafusos devem ter diâmetro mínimo de 12,7 mm, com porca e arruelas devidamente apertadas, estar espaçados entre si em, no máximo, 183 cm e inseridos na fundação de concreto ou alvenaria a uma profundidade mínima de 18 cm. A ligação deve ter, no mínimo, dois parafusos de ancoragem por seção de barra, os quais devem ser posicionados, no mínimo, de 7 vezes o diâmetro do parafuso e, no máximo, o da 30 cm da extremidade da barra.

As soleiras da habitação proposta são compostas por duas peças com comprimento de 340 cm. Cada peça é ancorada por 3 parafusos com diâmetro de 12,7 mm e comprimento de 200 mm, espaçados em 20 cm das extremidades das peças e em 150 cm entre si, conforme destacado na Figura 89.

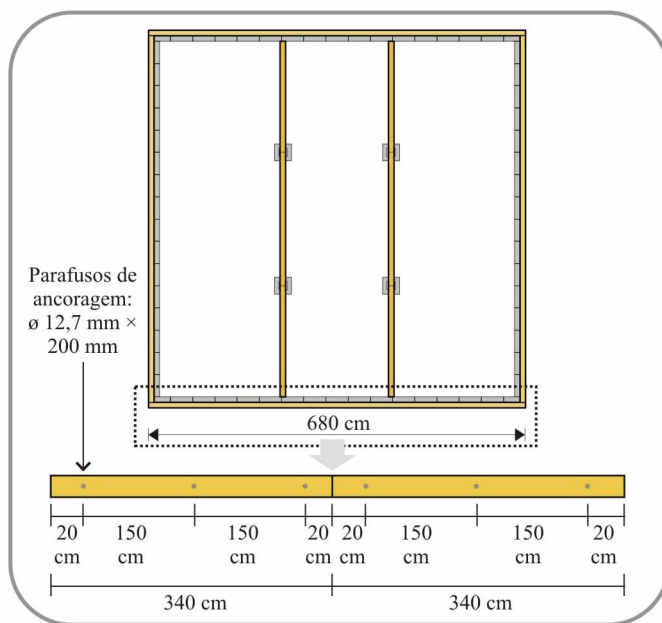


Figura 89: Espaçamento entre parafusos de ancoragem na soleira

b) Fixação das vigas de suporte na parede da fundação

No projeto, as vigas de suporte são fixadas na lateral do bloco de concreto utilizando um suporte metálico. Neste caso, não é necessário o

recorte do bloco para o apoio da viga. Porém, para facilitar a fixação do suporte na viga I é preciso acrescentar uma peça de madeira para o preenchimento na lateral em contato com o conector metálico (Figura 90).

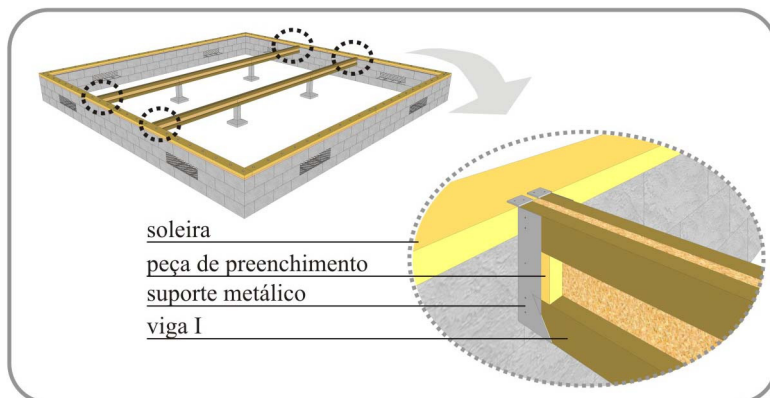


Figura 90: Fixação das vigas de suporte na fundação

O tipo de suporte metálico adotado para esta ligação pode ser conforme os exemplos demonstrados na Figura 91, sofrendo alterações no posicionamento das abas do conector. Segundo Simpson Strongtie (2008), um suporte de aço galvanizado com espessura de 14 gauge (1,99 mm), com altura de 20 cm, largura de 9 cm, e profundidade do apoio de 6,5 cm, utiliza aproximadamente 10 pregos anelares 10d (\varnothing 3,8 mm \times L 76,2 mm) fixados na viga de madeira e 18 parafusos de cabeça sextavada e rosca soberba para alvenaria com dimensões de $\frac{1}{4}'' \times 1 \frac{3}{4}''$ (\varnothing 6,35 mm \times 44,45 mm) fixados nos blocos de concreto. No entanto, para cada situação específica de construção, os parafusos devem ser dimensionados ao cisalhamento e ao arrancamento conforme a carga da viga.

As especificações de dimensões, fixadores e resistência de cada suporte metálico é responsabilidade dos fornecedores. Porém, como estes tipos de conectores especiais ainda são raramente encontrados no mercado brasileiro, é necessário aprofundar os estudos sobre esse tipo de ligação mecânica.

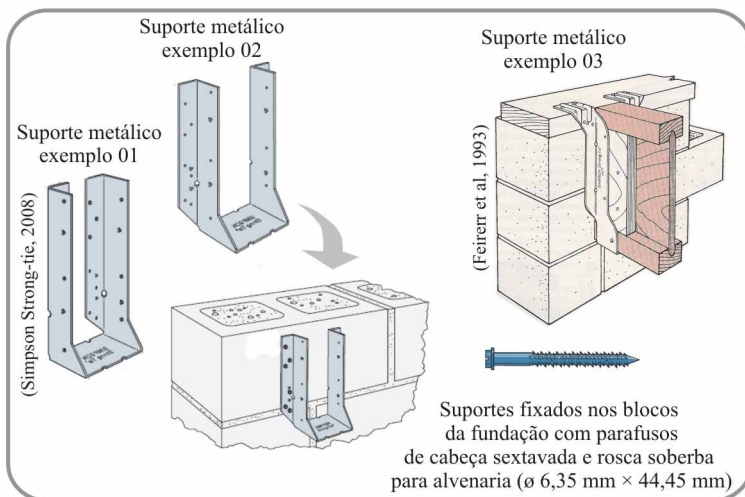


Figura 91: Exemplos de suportes metálicos para fixação das vigas

c) Fixação da chapa de fechamento lateral na soleira e nas vigas da plataforma do piso

As chapas de fechamento lateral do piso são fixadas na soleira com pregos 16d ($\varnothing 4,1 \text{ mm} \times 88,9 \text{ mm}$) em um ângulo aproximando de 30° , espaçados entre si em 40 cm no máximo. E, as mesmas chapas de fechamento lateral são fixadas nas vigas do piso com 02 pregos 16d ($\varnothing 4,1 \text{ mm} \times 88,9 \text{ mm}$) em cada viga, um prego em cada banzo da viga I (Figura 92).

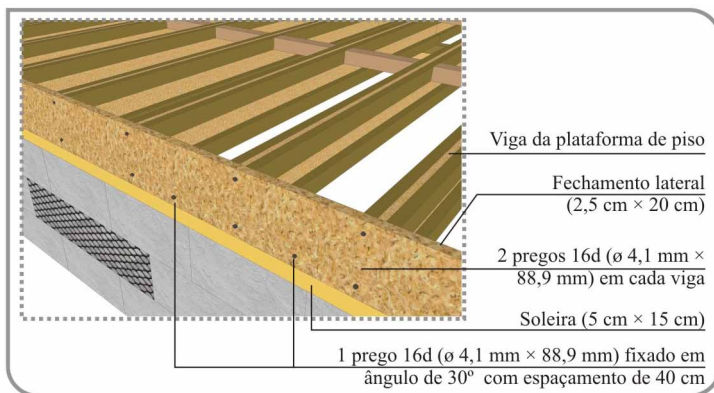


Figura 92: Fixação da chapa de fechamento lateral nas vigas e na soleira

d) Fixação das vigas da plataforma do piso na soleira

As vigas do piso são fixadas na soleira com 02 pregos 10d ($\varnothing 3,8$ mm \times 76,2 mm) em um ângulo aproximando de 30°, um prego em cada lateral do banzo inferior da viga (Figura 93).

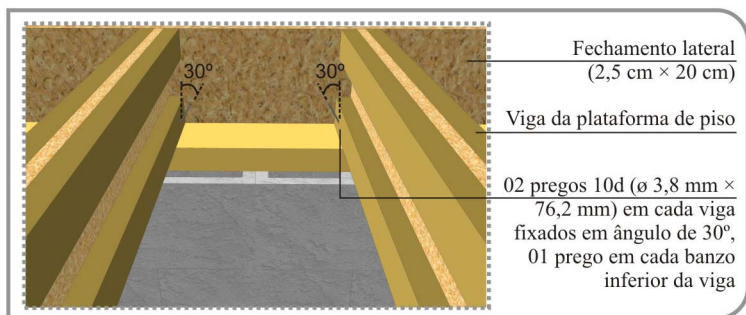


Figura 93: Fixação das vigas da plataforma do piso na soleira

e) Fixação das chapas OSB na estrutura de vigas do piso

As chapas OSB são fixadas com pregos 8d ($\varnothing 3,3$ mm \times 63,5 mm). Nas extremidades das chapas, estes pregos estão espaçados entre si em 15 cm no máximo, fixados sobre as peças de madeira enrijecedores. E, na parte intermediária das chapas, estes pregos estão sobre as vigas do piso, espaçados entre si em 30 cm no máximo (Figura 94).

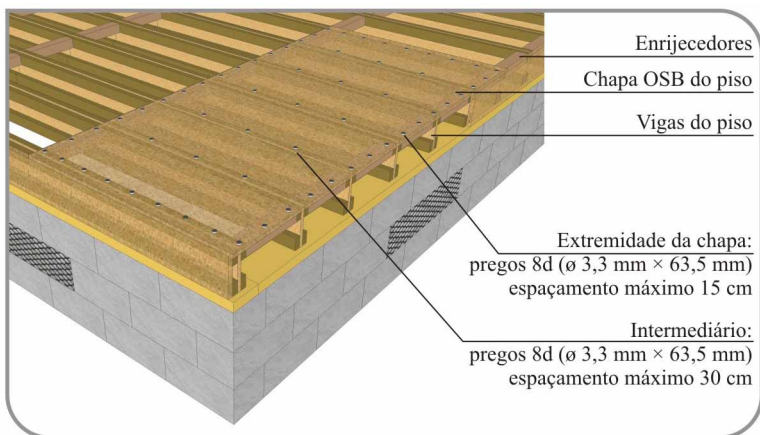


Figura 94: Chapas OSB pregadas sobre vigas do piso e elementos enrijecedores

f) Fixação dos montantes nas travessas inferior e superior da parede

As travessas superior e inferior dos painéis de parede são fixadas 2 pregos 16d ($\varnothing 4,1 \text{ mm} \times 88,9 \text{ mm}$) em cada união com o montante (Figura 95).

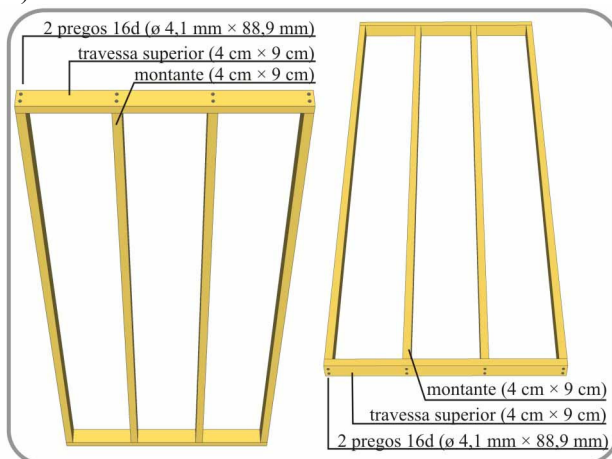


Figura 95: Fixação dos montantes nas travessas inferior e superior

Estas peças também podem ser reforçadas adicionando cantoneiras, ou seja, chapas metálicas dobradas em 90° situadas de forma alternada entre montantes e as travessas (Figura 96). Segundo Simpson Strongtie (2008), uma cantoneira metálica com as dimensões de 5,08 cm de altura, 3,81 cm de profundidade e 6,98 cm de largura é fixada com 8 pregos 10dx1½" ($\varnothing 3,8 \text{ mm} \times 38,1 \text{ mm}$), sendo 4 pregos na travessa e 4 pregos no montante.

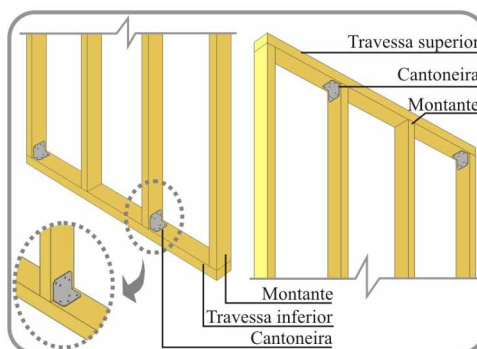


Figura 96: Reforço da ligação entre montante e travessa com cantoneiras metálicas

g) Fixação da chapa OSB e gesso acartonado na ossatura dos painéis de parede

As chapas OSB são pregadas na ossatura do painel de parede com pregos 6d (\varnothing 2,87 mm \times 50,8 mm) espaçados entre si em 15 cm nas extremidades da chapa e 30 cm na sua área intermediária (Figura 97).

As chapas de gesso acartonado podem ser fixadas com parafusos auto-atarraxantes com comprimento de 1¼" (31,8 mm) espaçados em 30 cm no máximo (NGC, 2009; SPENCE, 2008).

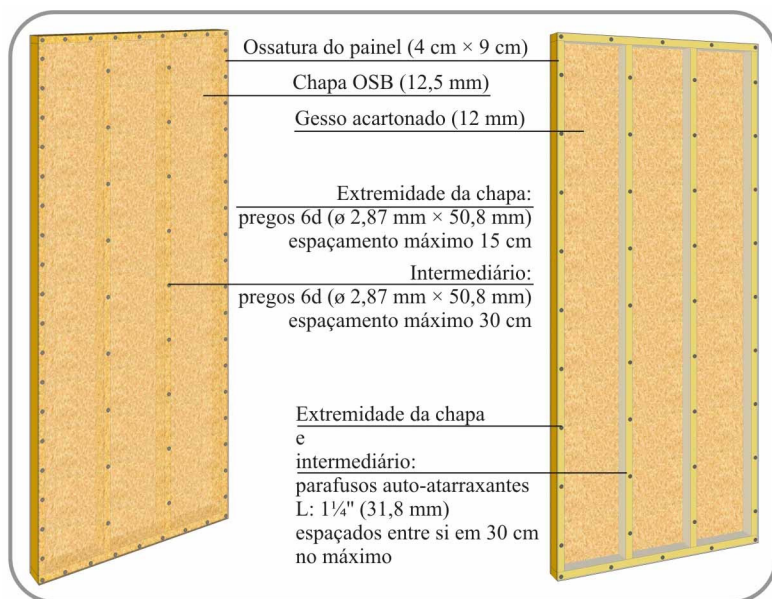


Figura 97: Fixação das chapas OSB e de gesso acartonado na ossatura da parede

h) Fixação do painéis de parede entre si e na plataforma de piso

A união dos painéis de parede é realizada com pregos 10d (\varnothing 3,8 mm \times 76,2 mm) espaçados entre si em 60 cm no máximo. E os painéis são fixados na plataforma de piso, geralmente sobre as vigas, com pregos 16d (\varnothing 4,1 mm \times 88,9 mm) espaçados entre si em 40 cm no máximo, ou seja, é colocado um prego em cada intervalo entre montantes dos painéis (Figura 98). Para reforçar esta ligação, fitas de ancoragem são pregadas nos montantes dos painéis e chumbadas nos blocos da fundação, conforme a Figura 99.

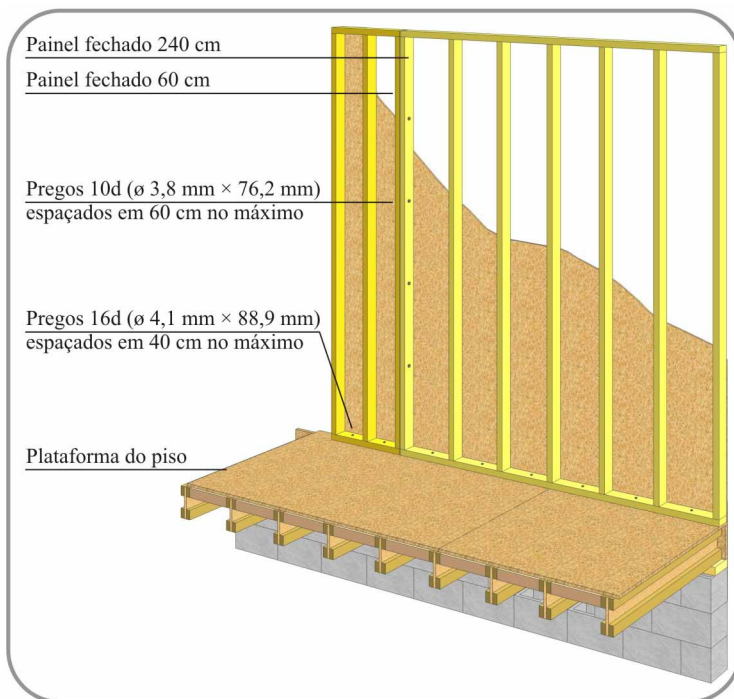


Figura 98: União dos painéis de parede e fixação destes na plataforma de piso

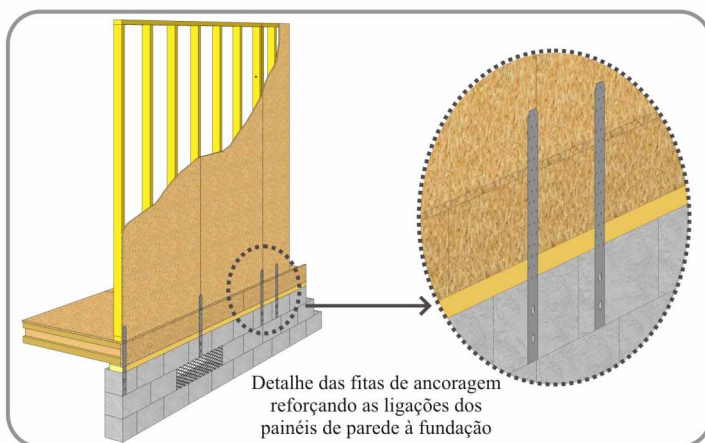


Figura 99: Fitas de ancoragem reforçando ligação dos painéis de parede à fundação

i) Fixação da travessa superior dupla nos painéis de parede

A travessa superior dupla é fixada sobre a travessa superior dos painéis de parede com pregos 10d ($\varnothing 3,8 \text{ mm} \times 76,2 \text{ mm}$) espaçados entre si em 60 cm no máximo. E, nas extremidades das peças da travessa dupla e na intersecção de travessas são colocados 2 pregos 16d ($\varnothing 4,1 \text{ mm} \times 88,9 \text{ mm}$) (Figura 100).

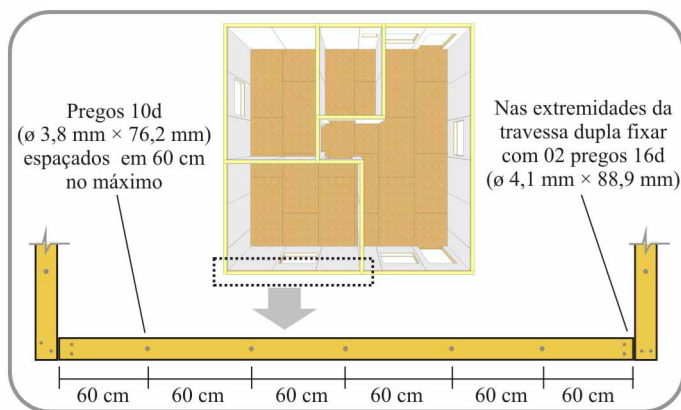


Figura 100: Detalhe do espaçamento entre pregos na fixação da travessa superior dupla

j) Fixação das treliças da cobertura na travessa superior dupla

As treliças são pré-fabricadas unindo suas peças com chapas estampadas. Em cada apoio sobre travessa dupla das paredes externas, as treliças são fixadas com 02 pregos 16d ($\varnothing 4,1 \text{ mm} \times 88,9 \text{ mm}$) colocados em ângulo de 30° , um prego em cada lateral da treliça.

Esta ligação é reforçada com a utilização de cantoneiras reforçadas, ou seja, chapas dobradas especiais que apresentam bom desempenho contra o arrancamento das treliças na ação de fortes ventos. Devem ser fixadas duas cantoneiras especiais em cada apoio da treliça sobre travessa dupla das paredes externas, uma em cada lateral da peça. Segundo Feirer et al (1993), uma cantoneira como a demonstrada na Figura 101 pode ser fixada com pregos 8d ($\varnothing 3,3 \text{ mm} \times 63,5 \text{ mm}$).

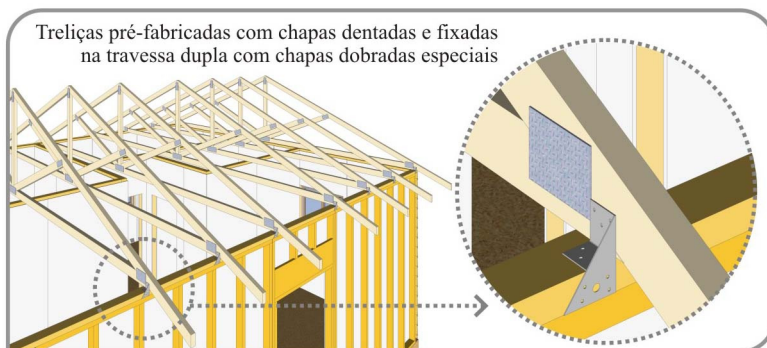


Figura 101: Fixação reforçada da treliça sobre as travessas duplas

4.3. ESTIMATIVA DE CUSTOS DE MATERIAL DA HIS

Nesta seção, é apresentado o levantamento de custo de material para a HIS de 46,50 m². Assim sendo, a mão-de-obra e o lote não foram contabilizados neste levantamento.

Os preços foram estimados a partir de uma consulta elaborada no comércio de materiais de construção da região da cidade de Florianópolis, em Santa Catarina, em janeiro de 2010.

Para o levantamento, foram considerados os custos dos materiais dos subsistemas fundação (Tabela 9), piso (Tabela 10), paredes (Tabela 11) e cobertura (Tabela 12). A soma desses quatro subsistemas pode ser observada na Tabela 13. Os subsistemas elétrico e hidrossanitário não foram incluídos nesta estimativa.

No entanto, ressalta-se que este levantamento não contempla todos os materiais aplicados na habitação, anteriormente detalhados. Para a estimativa de custo da fundação foram incluídos apenas os blocos de concreto estrutural e os blocos canaleta, excluindo o alicerce de concreto, as sapatas e os pilares isolados de concreto, a argamassa de assentamento, as grades metálicas e a manta asfáltica.

Da mesma forma, nas estimativas de materiais dos subsistemas piso, parede e cobertura, foram considerados, principalmente, os elementos de madeira maciça tratada, as chapas OSB, as chapas de gesso acartonado, as esquadrias em madeira, o filme impermeabilizante Tyvek e as telhas cerâmicas. Nestes três subsistemas, não foram contemplados o piso cerâmico, o forro de madeira, a pintura externa e os conectores em geral, como pregos, parafusos, cantoneiras e chapas metálicas especiais.

Tabela 9: Estimativas dos custos dos materiais da fundação da HIS

Fundação					
Material		Quantidade		Preço (R\$)	Preço total (R\$)
Blocos de concreto estrutural 19 cm × 19 cm × 39 cm		158	un.	1,60	252,80
Blocos canaleta de concreto 19 cm × 19 cm × 39 cm		24	un.	1,60	38,40

Tabela 10: Estimativas dos custos dos materiais do piso da HIS

Piso						
Material		Quantidade		Preço (R\$)		Preço total (R\$)
Soleira	5 cm × 15 cm	27,20	m	12,00	m	326,40
Vigas I suporte	banzo 3 cm × 6 cm	51,20	m	3,60	m	184,32
	alma OSB 18mm × 20cm	12,80	m	17,13	m²	43,85
Vigas I piso	banzo 3cm × 6cm	486,00	m	3,60	m	1.749,60
	alma OSB 18mm × 20cm	121,50	m	17,13	m²	416,00
Fecham. lateral OSB 25mm × 20cm		27,20	m	25,00	m²	136,00
Enrijecedores 5 cm × 7 cm		17,34	m	5,30	m	91,90
Chapa OSB piso 15,5 mm		46,50	m²	15,00	m²	697,50

Tabela 11: Estimativas dos custos dos materiais das paredes da HIS

Paredes						
Material		Quantidade		Preço (R\$)		Preço total (R\$)
Meio painel fechado (60 cm)		5	un.	86,07	un	430,35
	Montante 4 cm × 9 cm	8,15	m	5,50	m	44,80
	Travessa 4 cm × 9 cm	1,20	m	5,50	m	6,57
	Chapa OSB parede 12 mm 59,7 cm × 271,7 cm	1	un.	11,90	m²	19,30
	Gesso acartonado 12 mm 59,7 cm × 271,7 cm	1	un.	9,50	m²	15,40
Meio painel janela (60 cm)		1	un.	181,79	un.	181,79
	Montante 4 cm × 9cm	11,87	m	5,50	m	65,29
	Travessa 4 cm × 9 cm	1,20	m	5,50	m	6,56
	Verga 4 cm × 9 cm	0,52	m	5,50	m	2,84
	Contra-verga 4 cm × 9 cm	0,44	m	5,50	m	2,40
	Chapa OSB parede 12 mm 59,7 cm × 271,7 cm	1	un.	11,90	m²	19,30
	Gesso acartonado 12 mm 59,7 cm × 271,7 cm	1	un.	9,50	m²	15,40
	Janela madeira basculante 40 cm × 60 cm	1	un.	70,00	un.	70,00

Tabela 11: Estimativas dos custos dos materiais das paredes da HIS (continuação)

Material		Quantidade		Preço (R\$)		Preço total (R\$)
Painel fechado (120 cm)		3	un.	142,54	un.	427,62
	Montante 4 cm × 9 cm	10,87	m	5,50	m	59,77
	Travessa 4 cm × 9 cm	2,40	m	5,50	m	13,17
	Chapa OSB parede 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	1	un.	11,90	m²	38,70
	Gesso acartonado 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	1	un.	9,50	m²	30,90
Painel janela (120 cm)		3	un.	305,04	un.	915,09
	Montante 4 cm × 9cm	12,83	m	5,50	m	70,54
	Travessa 4 cm × 9 cm	2,40	m	5,50	m	13,09
	Verga 4 cm × 9 cm	1,20	m	5,50	m	6,14
	Contra-verga 4 cm × 9 cm	1,04	m	5,50	m	5,66
	Chapa OSB parede 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	1	un.	11,90	m²	38,70
	Gesso acartonado 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	1	un.	9,50	m²	30,90
	Janela madeira 94 cm × 104 cm duas folhas abrir	1	un	140,00	un.	140,00
Painel porta (120 cm)		5	un.	177,60	un.	1.433,00
	Montante 4 cm × 9cm	16,22	m	5,50	m	89,22
	Travessa 4 cm × 9 cm	2,54	m	5,50	m	13,94
	Verga 4 cm × 9 cm	0,88	m	5,50	m	4,84
	Chapa OSB parede 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	1	un.	11,90	m²	38,70
	Gesso acartonado 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	1	un.	9,50	m²	30,90
porta madeira interna 74 cm × 214 cm		3	un	75,00	un.	225,00
porta madeira externa 74 cm × 214 cm		2	un	160,00	un.	320,00
Painel duplo fechado e fechado (240 cm)		8	un.	270,17	un.	2.161,36
	Montante 4 cm × 9cm	19,02	m	5,50	m	104,60
	Travessa 4 cm × 9 cm	4,80	m	5,50	m	26,37
	Chapa OSB parede 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	2	un.	11,90	m²	77,40
	Gesso acartonado 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	2	un.	9,50	m²	61,80

Tabela 11: Estimativas dos custos dos materiais das paredes da HIS (continuação)

Material		Quantidade		Preço (R\$)		Preço total (R\$)
Painel duplo fechado e janela (240 cm)		2	un.	433,00	un.	866,06
	Montante 4 cm × 9 cm	18,93	m	5,50	m	104,16
	Travessa 4 cm × 9 cm	4,79	m	5,50	m	26,37
	Verga 4 cm × 9 cm	1,14	m	5,50	m	6,26
	Contra-verga 4 cm × 9 cm	1,06	m	5,50	m	5,82
	Chapa OSB parede 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	2	un.	11,90	m²	77,40
	Gesso acartonado 12 mm 119,7 cm × 271,7 cm	2	un.	9,50	m²	61,80
	Janela madeira 94 cm × 104 cm duas folhas abrir	1	un	140,00	un.	140,00
Travessa superior dupla 4 cm × 9 cm		41,6	m	5,50	m	228,80
Revestimento externo						3.044,00
	Impermeabilizante "tyvek"	84	m²	8,30	m²	697,20
	Ripas 4 cm × 5 cm	68	m	3,25	3,25	618,80
	"Sidings" 20 cm × 2,5 cm	216	m	40,00	m²	1.728,00

Tabela 12: Estimativas dos custos dos materiais da cobertura da HIS

Cobertura						
Material		Quantidade		Preço (R\$)		Preço total (R\$)
Treliça		9	un.	108,68	un.	978,12
	Banzo inferior 4 cm × 9 cm	6,75	m	5,50	m	37,12
	Banzo superior 4 cm × 9 cm	8,50	m	5,50	m	46,75
	Pendural 4 cm × 9 cm	1,25	m	5,50	m	6,88
	Escora 4 cm × 9 cm	3,26	m	5,50	m	17,93
Chapa OSB cobertura 12 mm		66,3	m²	11,90	m²	788,97
Isolante acústico "isover"		73	m²	10,50	m²	766,50
Impermeabilizante "tyvek"		73	m²	8,30	m²	605,90
Ripas 3 cm × 4 cm		194,40	m	3,25	m	631,50
Telha cerâmica romana		625	un.	720,00	mi	450,00

Tabela 13: Preço total estimado para a HIS

Preço total dos materiais	
Subsistema	Preço (R\$)
Fundação	291,20
Piso	3.645,83
Parede	9.688,07
Cobertura	4.220,99
Total	17.846,09

O custo do material estimado para HIS totalizou em R\$ 17.846,00 (Tabela 13). O subsistema parede apresentou o maior valor, totalizando R\$ 9.688,00, incluindo as esquadrias em madeira. Os componentes em madeira representaram um custo elevado nesta estimativa, pois, foram considerados os valores das peças de madeira beneficiada e tratada em autoclave com produto químico CCA e das esquadrias em madeira fornecidos por indústrias locais com um baixo nível de industrialização, e os valores das chapas de OSB fornecidas no comércio de varejo.

Todavia, salienta-se que o valor estimado nesse trabalho para a HIS pode ser reduzido, pois se propõe o aumento do nível de industrialização e da pré-fabricação dos componentes da habitação projetada, principalmente, dos painéis de parede, das vigas I do piso e das treliças da cobertura. Estes componentes, quando padronizados, produzidos em série e em larga escala, têm os custos associados à montagem e à mão-de-obra reduzidos. Além disso, no processo de industrialização, os materiais são adquiridos diretamente dos fornecedores e não no comércio de varejo, outra influência redutora dos custos.

O custo total dos materiais da HIS proposta foi comparado com os valores do Custo Unitário Básico por metro quadrado (CUB/m²) para duas categorias de construções: “Projeto de Interesse Social”, a qual inclui construções multifamiliares com até 4 pavimentos, e “Projeto-padrão residencial baixo”, que são residências unifamiliares com 1 pavimento. Segundo os dados do SINDUSCON da Grande Florianópolis (2010), o valor do CUB/m² referente ao mês de janeiro de 2010, para construções do tipo “Projeto de Interesse Social” é de R\$ 622,76, incluindo R\$ 335,56 de material e R\$ 278,48 de mão-de-obra. E, o CUB/m² para as construções do tipo “Projeto-padrão residencial baixo” é de R\$ 880,51, composto por R\$ 438,76 de material e R\$ 408,74 de mão-de-obra.

Considerando estas referências do CUB/m², a HIS projetada, com área de 46,50 m², quando categorizada como um “Projeto de Interesse Social”, custaria aproximadamente R\$ 29.000,00, incluindo R\$ 15.600,00 de material e R\$ 13.000,00 de mão-de-obra. E, na categoria “Projeto-padrão residencial baixo”, a HIS custaria aproximadamente R\$ 41.000,00, incluindo R\$ 21.000,00 de material e R\$ 19.000,00 de mão-de-obra.

O custo estimado, neste trabalho, para os materiais da HIS totalizado em R\$ 17.846,00 (Tabela 13), é coerente com os valores estimados para construções do tipo “Projeto de Interesse Social” e

“Projeto-padrão residencial baixo” (SINDUSCON, 2010). O valor estimado no projeto equivale à média dos valores que resultam da composição de materiais do CUB. A partir de um cálculo da média simples entre os valores totais do CUB/m², incluindo material e mão-de-obra, para as duas categorias de construção, o valor total da HIS projetada seria de, aproximadamente, R\$ 35.000,00.

Para famílias com renda de até 3 salários mínimos, este valor de R\$ 35.000,00 para uma habitação de 46,50 m² pode ser considerado elevado. Provavelmente, seria necessário um subsídio do governo ou de outro financiador, para não comprometer de forma excessiva a renda familiar.

Atualmente, a proposta de política habitacional “Minha casa, minha vida”, uma parceria do Governo Federal e da Caixa Econômica Federal (CEF), se compromete a dar um subsídio integral para 400.000 famílias com renda máxima de 3 salários mínimos. Estas famílias devem pagar mensalmente com 10% de sua renda, sendo a parcela mínima de R\$ 50,00, durante 10 anos (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2009). No entanto, as famílias com menos de 3 salários mínimos não contempladas com subsídios integrais, podem obter um subsídio parcial e quitar o restante do valor da habitação de acordo com os critérios da CEF (2010).

Simulou-se pelo programa “Simulador Habitação” da CEF (2010), o financiamento da HIS projetada estimada em R\$ 35.000,00 sendo paga por uma família com rendas de 1, 2 e 3 salários mínimos, em 240 meses. Os resultados podem ser observados na Tabela 14.

Tabela 14: Resultado da simulação obtida pelo programa “Simulador Habitação” da CEF (2010) em associação com o programa habitacional Minha Casa Minha Vida

Renda familiar	Subsídio (R\$)	Financiamento (R\$)	Entrada (R\$)	1ª prestação (R\$)	Juros nominais	Renda comprometida
1 salário mínimo (R\$ 510,00)	12.000,00	17.136,46	5.836,54	153,00	5% a.a. + TR	30 %
2 salários mínimos (R\$ 1.020,00)	12.000,00	23.000,00	0,00	236,24	5% a.a. + TR	23 %
3 salários mínimos (R\$ 1.530,00)	10.388,00	24.612,00	0,00	219,74	5% a.a. + TR	14 %

Preliminarmente, considerando estas condições atuais de financiamento do governo, pode-se concluir que o valor da HIS proposta não ultrapassa o comprometimento de 30 % da renda mensal das famílias, conforme o limite descrito no Plano de Comprometimento da Renda referente aos contratos de financiamento habitacional (BRASIL, 1993). No entanto, esta proporção não está de acordo com a realidade sócio-econômica do país e o valor da renda familiar e sua proporção com a quantidade de pessoas que a compõe. Pois, segundo dados do IBGE (2004), as famílias com renda de até 3 salários mínimos comprometem, aproximadamente, 20% de sua renda com despesas da habitação.

No entanto, recomenda-se um estudo mais aprofundado para obter uma conclusão mais precisa sobre o custo real da HIS proposta produzida em escala industrial e sua coerência com os programas sociais de habitação implementados no país. É preciso aprofundar esse estudo, considerando todos os custos envolvidos no processo de produção dos componentes pré-fabricados, no transporte e na logística de materiais, além dos valores dos materiais e da mão-de-obra e seus encargos sociais.

5. CONCLUSÕES

Tendo em vista a situação agravante do déficit habitacional brasileiro, concentrado, principalmente, entre as famílias com renda média de até 3 salários mínimos, este trabalho teve como objetivo propor à estas famílias uma HIS em madeira adotando as técnicas de construção do Sistema Plataforma, adequando seus componentes às normas de coordenação modular decimétricas vigentes no país e atendendo os conceitos de conectividade entre componentes de sistemas abertos.

A adoção do Sistema Plataforma como solução construtiva contribui para o desenvolvimento tecnológico da construção civil em madeira no Brasil, por adotar técnicas inovadoras com componentes pré-fabricados, padronizados, de fácil execução e manutenção que sejam adequados às condicionantes do país. A adequação dos componentes deste sistema às normas de coordenação modular decimétricas faz com que seus componentes sejam compatíveis com outros componentes coordenados, sendo utilizados em sistemas construtivos abertos, permitindo a flexibilidade da construção.

Para o desenvolvimento da proposta da HIS, primeiramente, foram propostos painéis verticais coordenados, para os vãos modulares de 60 cm × 280 cm, 120 cm × 280 cm e 240 cm × 280 cm. O módulo 12 M adotado facilitou a utilização dos painéis verticais coordenados com outros componentes coordenados modularmente em sistemas abertos mistos, além da flexibilidade da construção e da permutabilidade de componentes, sem comprometer a qualidade da composição espacial da habitação.

Além dos critérios da coordenação modular, a composição dos painéis foi estabelecida conforme os critérios estruturais do Sistema Plataforma, resultando na adoção de montantes de 4 cm × 9 cm espaçados, no máximo, a cada 40 cm, barras inferior e superior de 4 cm × 9 cm cada, fechamento externo por chapas OSB de 12,5 mm de espessura e fechamento interno por chapas de gesso acartonado, a fim de proporcionar segurança contra incêndio. Os pesos dos painéis variaram entre 29 kg e 93 kg, sendo transportados por 2 ou 4 pessoas cada painel.

Entre as vantagens da construção com painéis de madeira coordenados e pré-fabricados, salientou-se neste trabalho, a leveza dos componentes, a execução simples e fácil com pouca mão-de-obra, a limpeza no canteiro durante todas as etapas da construção e a flexibilidade pós-ocupacional sem descartar componentes.

Adotando a proposição dos painéis verticais coordenados modularmente em paralelo aos requisitos mínimos de conforto ergonômico, o projeto da HIS foi elaborado resultando em uma proposta com área total de, aproximadamente, 46,50 m², incluindo dois quartos, um banheiro e sala e cozinha conjugadas.

A partir da proposta base da HIS, demonstrou-se, por meio de exemplos, que as dimensões dos ambientes podem ser eventualmente redefinidas conforme as necessidades pós-ocupacionais dos moradores, através da remoção e do reposicionamento dos painéis verticais. A flexibilidade espacial da HIS é importante para sua readequação conforme as necessidades dos moradores, possibilitando a ampliação da área construída, o re-ordenamento de ambientes, a adição de novos ambientes ou a alteração do material de construção. Esta vantagem dos sistemas abertos está diretamente relacionada a componentes de construção que atendem os requisitos da coordenação modular.

Retornando à proposta principal da HIS com 46,50 m², foram detalhados seus subsistemas fundação, piso, parede, cobertura, hidrossanitário e elétrico, além do detalhamento das principais ligações dos componentes. O detalhamento do projeto é importante para evitar erros na produção dos componentes em fábrica e na montagem e na execução no canteiro. Os detalhamentos orientam a ação da mão-de-obra e a fiscalização dos técnicos responsáveis, a fim de manter a eficiência dos componentes e a qualidade da construção, especialmente no caso da implementação de um sistema ainda pouco difundido no país, tal como o Sistema Plataforma em madeira.

A simplicidade dos componentes do Sistema Plataforma e de suas ligações demonstra que estes podem ser facilmente adequados e fabricados por indústrias brasileiras de construção em madeira, incorporando inovações tecnológicas no setor. A adoção de técnicas construtivas relacionadas ao Sistema Plataforma em madeira e seus dispositivos de ligação pode estimular as indústrias brasileiras a adotarem um maior nível de industrialização e modernização na fabricação de edificações em madeira, e assim, ofertar produtos que cumprem os requisitos de desempenho da edificação.

A estimativa de custo da HIS proposta resultou em um valor ainda considerado elevado para uma família com 4 pessoas e renda máxima de 3 salários mínimos, pois compromete mais que 20% da renda mensal. Todavia, o custo da HIS proposta pode ser menor que o estimado neste trabalho, pois se propõe a utilização de componente industrializados e

pré-fabricados. Estes componentes quando são padronizados e produzidos em série e em grande demanda, sofrem redução nos custos de material e de mão-de-obra.

No entanto, para obter uma conclusão mais precisa sobre o custo real da HIS proposta, é necessário aprofundar esse estudo considerando todos os custos envolvidos nos processos de projeto, de produção dos componentes, de transporte e execução, incluindo em todas as etapas os valores da mão-de-obra e seus encargos sociais.

Para estudos futuros este trabalho sugere:

- elaboração detalhada de custos de produção de uma HIS industrializada, que adota técnicas do sistema construtivo Plataforma, a fim de avaliar a implementação e o gerenciamento de uma indústria produtora de painéis de parede;
- verificar a viabilidade econômica desta habitação para uma família com baixa renda;
- levantamento e avaliação dos requisitos de desempenho especificados pela norma NBR 15575-1 (2008), consolidando a eficiência do Sistema Plataforma, conforme as condicionantes brasileiras.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMS, M.W., BRADLEY, P. (1946). **A62 - Guide for Modular Coordination**. The American Institutes of Architects. The Producers' council, inc. Modular Service Association: Boston, Massachusetts.

ALBERS, J.T.; ESTILL, C.F. (2007). **Simple Solutions: Ergonomics for Construction Workers**. National Institute for Occupational Safety and Health - NIOSH Publication No. 2007-122 .

AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION – APA (1997). **Panel Handbook and Grade Glossary**. The Engineered Wood Association.

_____. APA (2004). **I-Joist Construction Details**. Performance rated i-joists in floor and roof framing. 2004 Engineered Wood Systems. Disponível em: www.apawood.org Acesso em: 12/02/2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF (2009). **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2008**. Brasília: ABRAF. 120p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7190 (1997). **Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro. 107p.

_____. NBR 5709 (1982). **Multimódulos**. Rio de Janeiro. 1p.

_____. NBR 5725 (1982). **Ajustes modulares e tolerâncias**. Rio de Janeiro. 4p.

_____. NBR 5731 (1982). **Coordenação modular da construção: terminologia**. Rio de Janeiro. 4p.

_____. NBR 9050 (2004). **Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro. 97p.

_____. NBR 15575-1 (2008). **Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho**. Parte 1: Requisitos Gerais. Rio de Janeiro. 52p.

BALDAUF, A. S. F. (2004). **Contribuição à implementação da Coordenação Modular da construção no Brasil**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

BANCO NACIONAL DA HABITAÇÃO (BNH); INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E GERENCIAL (IDEG) (1976). **Coordenação modular da construção**. Rio de Janeiro: BNH/IDEG.

BENOÎT, Y.; PARADIS, T. (2007). **Construction de maisons à ossature bois**. Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA). Groupe Eyrolles.

BENSONWOOD (2006). **Reinventing the House**. Fine Homebuilding october/november. Walpole, New Hampshire, U.S.

BITTENCOURT, R. M. (1995). **Concepção arquitetônica da habitação em madeira**. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

BLACHÈRE, G. (1977). **Tecnologias de la construcción industrializada**. Barcelona: Gustavo Gilli S.A. 168 p.

BONIN, L. C. (1987). **A abordagem sistêmica da produção de edificações**. Dissertação (mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 107p.

BRASIL (1993). **Plano de Comprometimento da Renda (PCR). Lei 8.692/1993** (lei ordinária) 28/07/1993. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8692.htm Acesso em: 01/02/2010.

BREYER, D.E.; FRIDLEY, K.; COBEEN, K.; POLLOCK, D. (2003). **Design of wood structures – ASD**. 5 ed. New York: McGraw-Hill, Inc.

BRUNA, P. (2002). **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento**. 2. ed. São Paulo: Perspectiva.

BYRNE, G. S. (1970). **Racionalização do processo de projecto I - Coordenação Dimensional Modular. Princípios e Aplicações**. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil – LNEC.

CABRAL, C. P. C. (2001). **Grupo Archigram, 1961-1974: uma fábula da técnica**. Tese de doutorado. Universitat Politècnica de Catalunya. Escola Técnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, ETSAB, Barcelona.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL – CEF (2010). **Simulador Habitação**. Programa Minha Casa Minha Vida. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/habitacao/index.asp> Acesso em: 05/01/2010.

CANADIAN MANUFACTURED HOUSING INSTITUTE - CMHI (2007). **Building Excellence**: the official magazine of the CMHI - spring. Ottawa, Canada: Matrix Group Inc.

CANADIAN WOOD COUNCIL - CWC (2000). **Moisture and Wood-Frame Buildings**. Building Performance Bulletin Series No. 1. Ottawa, Ontario, Canadá.

CÉSAR, S. F. (2002) **Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente: projeto conceitual**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CUPERUS, Y. (2001). **An introduction to open building**. In proceedings International Group for Lean Construction Annual Conference, 9a, Singapura, NUS. p.261- 270.

DIAS, G. L. (2005). **Estudo experimental de paredes estruturais de sistema leve em madeira (sistema plataforma) submetidas à força horizontal no seu plano**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis.

DORFMAN, G. (2002). **Flexibilidade como balizador do desenvolvimento das técnicas de edificação no século XX**. Paranoá Periódico Eletrônico de Arquitetura e Urbanismo. Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo. Universidade de Brasília. Brasília. Disponível

em: http://www.unb.br/fau/pos_graduacao/paranoa/paranoa.htm Acesso em: 29/01/2008.

EDUCATIONAL FACILITIES LABORATORIES. (1963). **SCSD: the project and the schools**. New York. 96p.

EUROCODE 5. prEN 1995-1-1 (2003). **Design of timber structures. Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings**. Final Draft. CEN. 125p.

FEIRER, J.L.; HUTCHINGS, G.R.; FEIRER, M.D. (1993). **Carpentry and building construction**. 4 ed. New York: Glencoe / McGraw-Hill, Inc., 1993.

FERREIRA, A. B. H. (1999). **Novo Aurélio século XX: o dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

FOREST PRODUCTS LABORATORY – FPL (1999). **Wood handbook – Wood as an engineering material**. Madison, WI: USDA, Forest Service, Forest Products Laboratory.

FRANCO, L. S. (1996). **Racionalização construtiva, inovação tecnológica e pesquisas**. In: Curso de Formação em Mutirão EPUSP, São Paulo.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (2009). **Déficit habitacional no Brasil 2007**. Brasil, Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Habitação: Brasília, 2009. 129p.

GREVEN, H. A.; BALDAUF, A. S. F. (2007). **Introdução à coordenação modular da construção no Brasil: uma abordagem atualizada**. Coleção Habitare, volume 9 - ANTAC, Porto Alegre. 72 p. Ilustrado.

GRISOTTI, M (1971). **A industrialização da construção em relação à primeira e à segunda revolução industrial**. In: A industrialização da construção, v. 2, FAUUSP.

HUMAITÁ (2008). **Indústria e Comércio de Madeiras Humaita**, Florianópolis, SC. Disponível em: <http://www.casahumaita.com.br/> Acesso em: 10/06/2008.

INO, A. (1992). **Sistema Estrutural Modular em Eucalipto Rolicho para Habitação, Concepção e Desenvolvimento**. In: IV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 1992, São Carlos - SP. Anais do IV EBRAMEM, v. 4. p. 235-250.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE (2004). **Pesquisa de Orçamentos Familiares - POF 2002-2003**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/> Acesso em: 01/02/2010.

_____. IBGE (2006). **Número médio de pessoas nos arranjos familiares residentes em domicílios particulares**, por classes de rendimento mensal familiar per capita, segundo as Grandes Regiões, Unidades da Federação e Regiões Metropolitanas - 2006. IBGE, Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios 2006.

INTERNATIONAL RESIDENTIAL CODE - IRC (2009). International Residential Code. For one- and two-family dwellings. International Code Council – ICC. Disponível em: <http://www.iccsafe.org/Store/Pages/OverviewFreeCodes.aspx> Acesso em: 15/11/2009.

IPEA (2006). **Radar Social - Condições de Vida no Brasil**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em: www.ipea.gov.br Acesso em: 26/05/2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 6241 (1984). **Performace Standadrns in Buildings: Principles of preparation and factors to be considered**. First Edition, Switzerland.

_____. ISO 1006 (1983). **Building construction - Modular coordination - Basic module**.

KOWALTOWSKI, D.K. et al (2006). **Reflexão sobre metodologias de projeto arquitetônico** in Ambiente Construído, Vol. 6, Nº 2. Disponível em: <http://www.seer.ufrgs.br> Acesso em: 30/09/2009.

KRAMBECK, T. I. (2006). **Revisão de sistema construtivo em madeira de floresta plantada para habitação popular**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis.

KUCKER, P. (2002). **Framework: construction and space in the architecture of Frank Lloyd Wright and Rudolf Schindler**. In: The Journal of Architecture Volume 7. University of Virginia, Charlottesville.

LE GOVIC, C. (1995). **Les assemblages dans la construction en bois**. Paris: Centre Technique du Bois et de l'Ameublement (CTBA). 129p.

LEWIS, G.J.; VOGT, F. (2000). **Carpentry**. 3 ed. Cengage Learning.

LIMA, A. L. (2003) **Pré-fabricação e comportamento de vigas "I" em madeira**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Florianópolis. 94 p.

LOUISIANA PACIFIC – LP (2009). **OSB Sheathing. OSB Board Product Information**. Disponível em <http://www.lpcorp.com/sheathing/productinformation/productinformation.aspx> Acesso em: 07/10/2009.

LUCINI, H. C. (2001). **Manual técnico de modulação de vãos de esquadrias**. São Paulo: Pini.

MARTUCCI, R. (1990). **Projeto tecnológico para edificações habitacionais: utopia ou desafio?** Tese (Doutorado). Arquitetura e Urbanismo. Universidade de São Paulo, São Paulo.

MASISA. (2006). **Painel Estrutural OSB MASISA – Recomendações práticas**. Catálogo impresso. Curitiba, outubro.

MELHADO, S. B. (1994). **Qualidade do projeto na construção de edifícios: aplicação ao caso das empresas de incorporação e construção**. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 294p.

METELLO, H. S.; CALIL JUNIOR, C. (1995). **Habitação de Interesse Social Em Madeira: Breve Revisão**. In: V Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de madeira, Belo Horizonte, v. 1. p. 239-250.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. (2009). **Programa Minha Casa Minha Vida**. Secretaria Nacional da Habitação - SNH. Programas e Ações MCMV. BRASIL. Arquivo: Apresentacao25309.pdf Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/> Acesso em 20/12/2009.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO (1990). **Normas Regulamentadoras: NR-17 – Ergonomia**. Redação dada pela Portaria MTPS nº 3.751, de 23 de novembro de 1990. Disponível em: http://www.mte.gov.br/legislacao/normas_regulamentadoras/default.asp Acesso em: 03/11/09.

NGC - NATIONAL GYPSUM COMPANY (2009). **Gypsum Board Guide Specification**. SECTION 09 29 00. National Gypsum Properties, LLC: Charlotte, North Carolina. Disponível em: <http://www.nationalgypsum.com/guidespec/> Acesso em: 01/02/10.

NAVARINE, C.C. et al (2009). **Pesquisa de mercado: dimensões comerciais das esquadrias de madeira**. Relatório Parcial de Pesquisa: Rede Habitare de Pesquisa: Coordenação Modular na construção. Departamento de Engenharia Civil, GDA, UFSC, Florianópolis.

O'BRIEN, M.; WAK'EFIELD, R; BELIVEAU, Y. (2000). **Industrializing the Residential Construction Site**. Department of Housing and Urban Development, Office of Policy Development and Research, Washington, DC, July.

OFFERMAN, D. (2004). **Advantages of modularity** in: Proceedings from the 2nd Seminar on Development of Modular Products, Dalarna University, Sweden.

OLIVEIRA, D. L. M. (1990) **Estudo sistematizado das técnicas do PPM: projeto para a montagem**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina. 167p.

PANERO, J., ZELNIK, M. (2002). **Las dimensiones humanas em los espacios interiores – Estándares antropométricos**. 10 ed. Ediciones G. Gili: México.

PARIZOTTO FILHO, S. (2004). **Análise arquitetônica e construtiva de tipos habitacionais edificados com painéis pré-fabricados com blocos cerâmicos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Florianópolis.

PATH - Partnership for Advancing Technology in Housing (1998). **Building Innovation for Homeownership**. U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research Washington, DC. U.S., April.

PATH - Partnership for Advancing Technology in Housing (2005). **Integrating Panels into the Production Homebuilding Process**. U.S. Department of Housing and Urban Development Office of Policy Development and Research Washington, DC. U.S., September.

PEREIRA, A. C. (2005). **Diretrizes para a implantação de sistemas construtivos abertos na habitação de interesse social através da modulação**. Dissertação (mestrado). Pós-Graduação em Construção Civil. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PELEGRINI, A. V. (2005). **O processo de modularização em embalagens voltado para a customização em massa: uma contribuição para a gestão do design**. Dissertação (mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS - PMF (2000). **Código de Obras e Edificações**. Florianópolis: PMF. Disponível em: www.pmf.sc.gov.br Acesso em: 06/05/2008.

ROSSO, T. (1976). **Teoria e prática da coordenação modular**. São Paulo: FAUUSP.

ROZENFELD, H. et al (2006). **Gestão do Desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria de processo**. São Paulo: Saraiva.

SABBATINI, F. H. (1989). **Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos: formulação e aplicação de uma metodologia**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 336p.

SÁNCHEZ, J. E. P. (1995). **Casa de Madera**. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. AITIM.

SANCHEZ, R. (2002). **Using modularity to manage the interactions of technical and industrial design**. Design management Journal, Vol .2. Boston MA: design Management institute. Disponível em: <http://findarticles.com> Acesso em: 28/05/2008.

SANTOS, A. C. (2005). **Pisos em sistema leve de madeira sob ação de carregamento monotônico em seu plano**. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 90p.

SIMPSON STRONGTIE (2008). **Wood construction connectors**. C-2008. Disponível: www.strongtie.com Acessado em: 06/05/2008.

SPENCE, W.P. (2008). **Installing and finishing drywall**. Revised edition. Sterling Publishing Co., Inc: New York.

STALNAKER, J.J.; HARRIS, E.C. (1997). **Structural Design in Wood**. 2 ed. New York: Chapman & Hall.

STRUCTURAL BOARD ASSOCIATION – SBA (2004). **OSBPerformance by design. OSB in wood frame construction**. Canadian Edition 2004.

SZÜCS, C. A. et al (2007). **Otimização da Industrialização do Sistema Construtivo Battistella – UFSC**. Relatório final. Projeto de Tecnologia de Habitação – Habitare. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.

TOPPING, R., et al (2004). **Organizing Residential Utilities: A New Approach to Housing Quality**. U.S. Department of Housing and Urban Development.

UFPI - Universal Forest Products (2005). **Wall panel from Universal Forest Products**. Wall panels brochure. Disponível em: <http://www.ufpi.com/PRODUCT/wallpanel/index.htm> Acesso em: 11/06/2007.

ULRISH, K. T.; EPPINGER, S. D. (2000). **Product design and development**. New York: McGraw-Hill Higher Education.

ULRISH, K. T.; TUNG, K. (1991). **Fundamental of product modularity**. DE-v. 39, Issues in Design Manufacture/Integration, ASME.

VELLOSO, J., et al (2008). **Comportamento estrutural experimental do sistema pré-fabricado plataforma em madeira**. XI Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira. Londrina, julho 2008.

VIÑOLA (1948). **Tratado de los 5 ordenes de arquitectura**. Buenos Aires: Editorial Construcciones.

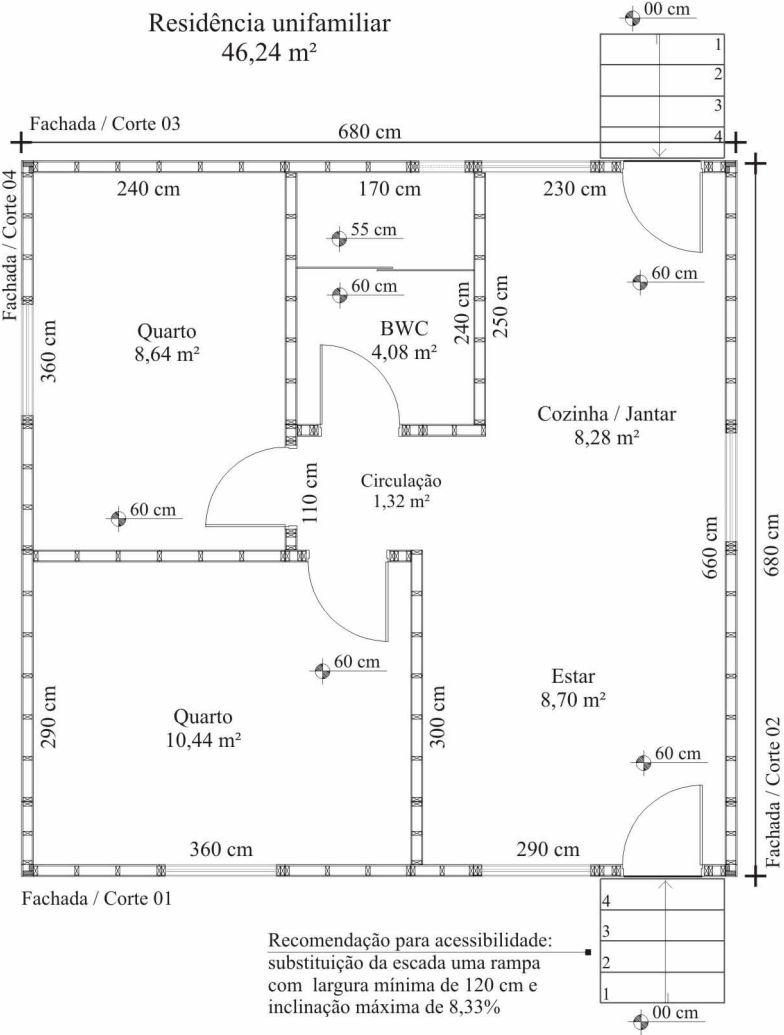
VITRÚVIO, M. (2007). **Tratado de arquitetura**. São Paulo: Martins Fontes. 560p.

ZENID, G. J. coordenador (2009). **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas: SVMA, 2009. Publicação IPT ; 3010.

WAGNER, J.D. (2005). **House Framing: Plan, Design, Build**. Creative Homeowner Press. 240p.

7. APÊNDICES

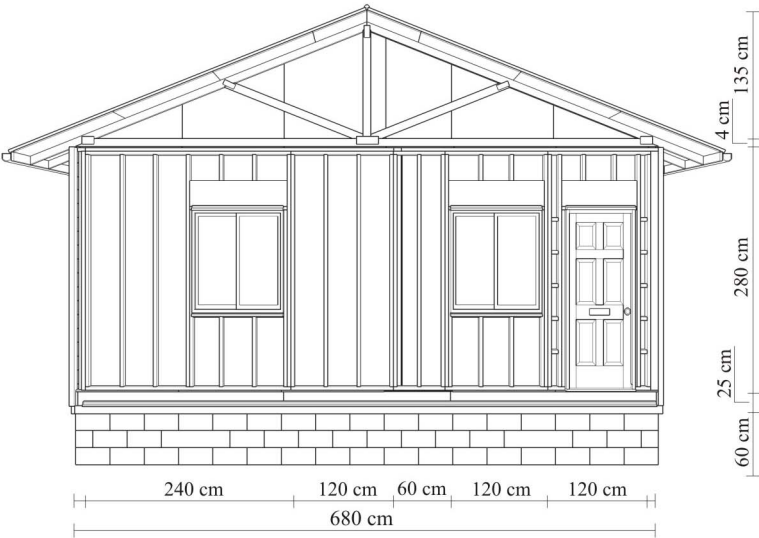
Apêndice 1: Planta da HIS cotada



Apêndice 2: Fachada e corte 01

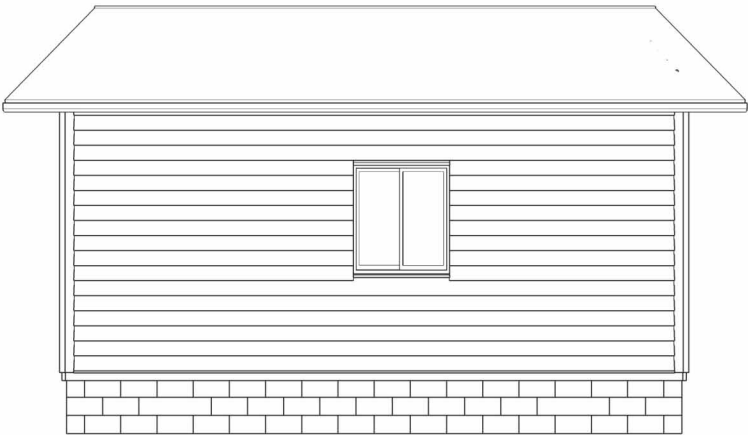


Fachada 01

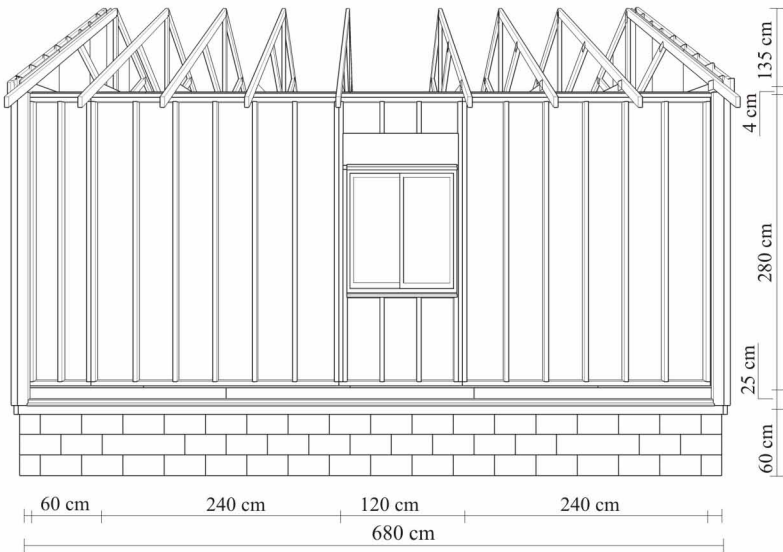


Corte 01

Apêndice 3: Fachada e corte 02



Fachada 02

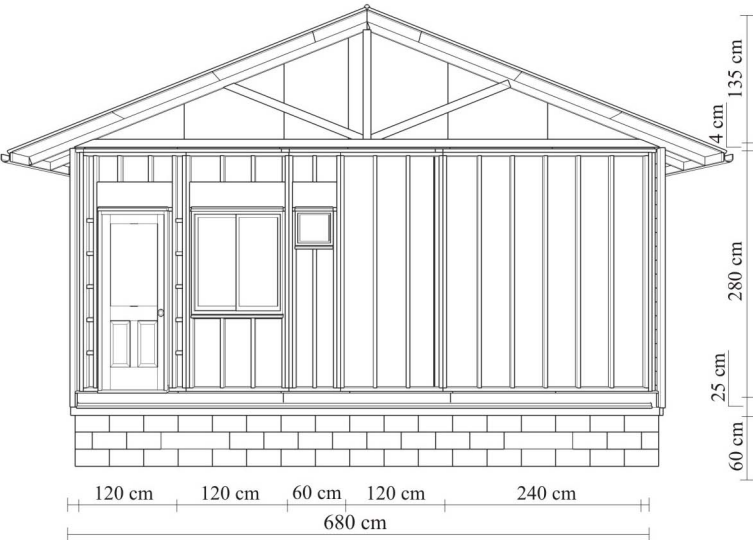


Corte 02

Apêndice 4: Fachada e corte 03

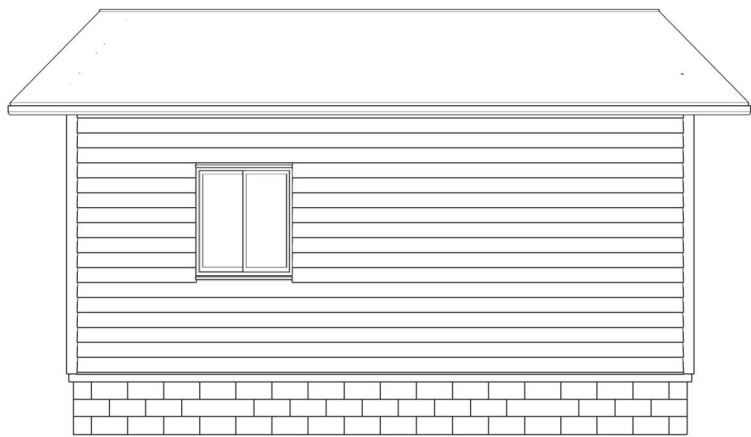


Fachada 03

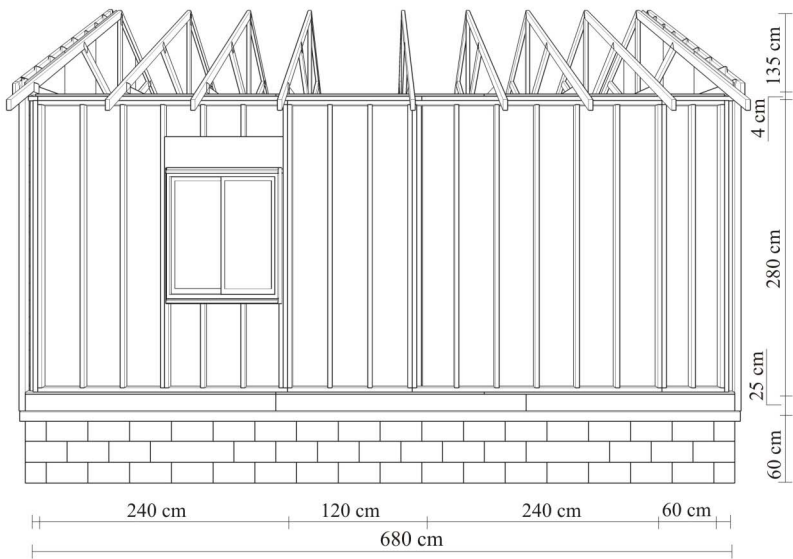


Corte 03

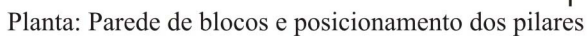
Apêndice 5: Fachada e corte 04



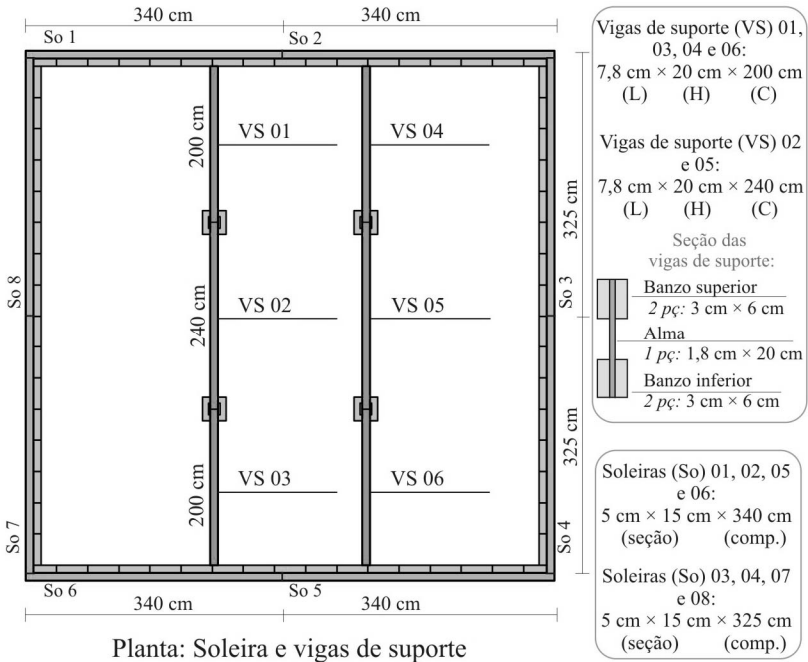
Fachada 04



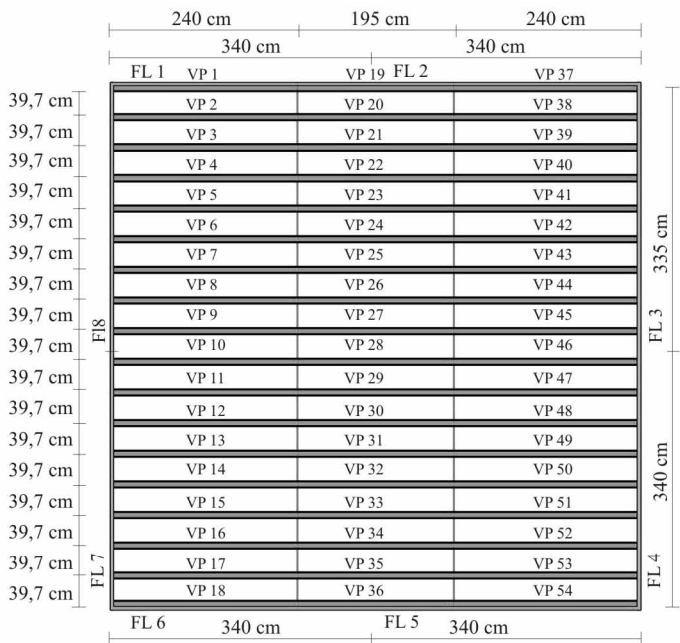
Corte 04



Apêndice 7: Planta com soleiras e vigas de suporte detalhadas



Apêndice 8: Planta com detalhamento das vigas do piso e fechamento lateral



Planta: vigas do piso e fechamento exterior

